

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za računalništvo in informatiko

Jaka Simšič

**Gradnja širokopasovnega dostopovnega  
omrežja po smernicah Evropske digitalne  
agende**

DIPLOMSKO DELO  
UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM  
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

prof. dr. Miha Mraz  
MENTOR

Ljubljana, 2016



© 2016, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavljane ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.





Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta *za računalništvo  
in informatiko*



**Tematika naloge:**

*Kandidat naj v diplomskem delu predstavi smernice za gradnjo širokopasovnih omrežij po Evropski digitalni agendi. Navedene smernice naj uporabi pri izdelavi načrta omreženja tipičnega vzorčnega področja v Sloveniji, ki predstavlja infrastrukturno "belo liso" in trenutno nima razvite ustrezne komunikacijske infrastrukture.*



## IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani izjavljam, da sem avtor dela, da slednje ne vsebuje materiala, ki bi ga kdorkoli predhodno že objavil ali oddal v obravnavo za pridobitev naziva na univerzi ali drugem visokošolskem zavodu, razen v primerih kjer so navedeni viri.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem delo izdelal samostojno pod mentorstvom prof. dr. Mihe Mraza,
- so elektronska oblika dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko in
- soglašam z javno objavo elektronske oblike dela v zbirki "Dela FRI".

— Jaka Simšič, Ljubljana, julij 2016.



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za računalništvo in informatiko

Jaka Simšič

## Gradnja širokopasovnega dostopovnega omrežja po smernicah Evropske digitalne agende

### POVZETEK

V diplomski nalogi predstavimo smernice Evropske digitalne agende (EDA) v delu, ki se tiče izgradnje širokopasovnega dostopovnega omrežja, ki bo omogočalo hitre internetne povezave. Republika Slovenija je smernice povzela v dokumentu Digitalna Slovenija 2020 in s tem potrdila pripravljenost, da izpolni smernice, ki jih je Evropska komisija navedla v EDA. Trenutno slovensko omrežje ne izpolnjuje zahtev EDA. Glede na podatke Agencije za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije (AKOS) je večina priključkov na bakrenem omrežju, minimalne zahteve pa izpolnjujejo samo optični priključki. Predstavljena je analiza lokacije, na kateri je potrebna nadgradnja omrežja in utemeljena izbira GPON tehnologije. Razdelana je ocena obremenitev omrežja ob izgradnji in v prihodnosti. Predstavljen je načrt gradnje GPON omrežja in umestitev omrežja v prostor.

**Ključne besede:** Evropska Digitalna Agenda, Digitalna Slovenija 2020, GPON, ocena obremenitve omrežja



University of Ljubljana  
Faculty of Computer and Information Science

Jaka Simšič

**Planinng and realization of broadband network in accordance  
with guidelines from European digital agenda**

**ABSTRACT**

Thesis contains description of European Digital Agenda (EDA) guidelines regarding the need for fast and ultra fast internet access. Republic of Slovenia supported those guidelines in document Digital Slovenia 2020 and with that confirmed the intention to fulfill the requirements set by European commission in EDA. Current state of communication network does not suffice those guidelines. According to Agency for communication networks and services of the Republic of Slovenia (AKOS) copper connections form a majority of current network and internet speed demanded by EDA guidelines can only be achieved on optical network connections. In thesis we take a closer look at a location that does not meet the requirements from EDA guidelines and we choose to implement GPON network as a solution. We estimate network load in the time of network realization and in the future and we describe a solution for building a GPON based access network.

**Key words:** European Digital Agenda, Digital Slovenia 2020, GPON, estimated network load





## ZAHVALA

*Hvala družini za potrpežljivost, razumevanje in podporo. Hvala prijateljem za spodbudo in pomoč.*

— Jaka Simšič, Ljubljana, julij 2016.



## KAZALO

<b>Povzetek</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Zahvala</b>	<b>v</b>
<b>1 Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Smernice EDA in pregled obstoječega širokopasovnega dostopovnega omrežja</b>	<b>3</b>
2.1 Smernice in cilji Evropske digitalne agende . . . . .	3
2.1.1 Četrty steber Evropske digitalne agende . . . . .	4
2.1.2 Digitalna Slovenija 2020 . . . . .	4
2.2 Trenutno stanje omrežja v Sloveniji . . . . .	5
2.2.1 Poročilo AKOS o izpolnjevanju pogojev s strani EDA . . . . .	5
2.2.2 Primerjava z EU ob upoštevanju vpliva geografske razpršenosti . .	8
<b>3 Tehnologije obstoječih dostopovnih širokopasovnih omrežij</b>	<b>11</b>
3.1 Bakreno omrežje in xDSL priključki . . . . .	12
3.1.1 ADSL . . . . .	12
3.1.2 VDSL . . . . .	14
3.2 Optično omrežje . . . . .	14
3.2.1 FTTx . . . . .	15
3.2.2 GPON . . . . .	16
3.3 Kabelsko omrežje . . . . .	18
3.4 Satelitski internet . . . . .	19
3.5 Mobilno omrežje četrte generacije - LTE . . . . .	19

<b>4</b>	<b>Načrt izgradnje širokopasovnega dostopovnega omrežja</b>	<b>23</b>
4.1	Analiza izbrane lokacije . . . . .	23
4.1.1	Izbira lokacije . . . . .	23
4.1.2	Število prebivalcev in gospodinjstev . . . . .	24
4.1.3	Trenutno stanje omrežja . . . . .	25
4.2	Dimenzije omrežja in ocena bremena . . . . .	27
4.2.1	Ocena števila potrebnih priključkov omrežja na izbrani lokaciji . . .	27
4.2.2	Ocena obremenitev omrežja na izbrani lokaciji . . . . .	28
4.2.3	Ocena prihodnjih obremenitev omrežja . . . . .	37
4.3	Izvedba gradnje omrežja po smernicah EDA . . . . .	39
4.3.1	Izbira tehnologije . . . . .	39
4.3.2	Arhitektura omrežja . . . . .	40
4.3.3	Lokacijska umestitev v prostor . . . . .	42
4.3.4	Nadgradnja omrežja . . . . .	42
<b>5</b>	<b>Zaključek</b>	<b>47</b>

# 1 Uvod

V pričujočem diplomskem delu predstavimo načrt gradnje širokopasovnega dostopovnega omrežja, ki izpolnjuje smernice zapisane v Evropski digitalni agendi (EDA).

V drugem poglavju je predstavljen četrti steber EDA, ki se navezuje na potrebo po hitrem internetu in širokopasovnih priključkih, ki omogočajo internetni dostop s hitrostjo najmanj 30 Mbit/s. V nadaljevanju predstavimo okvire dokumentov Digitalna Slovenija 2020 (DS2020) in Načrt gradnje širokopasovnih omrežij nove generacije (Načrt NGN), ki so jih kot odgovor (oz. podporo) EDA pripravile ustrezne vladne službe v Sloveniji. Glede na statistične podatke Agencije za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije (AKOS) predstavimo kvantitativni pregled trenutnega stanja širokopasovnega omrežja in najbolj razširjenih dostopovnih tehnologij.

V tretjem poglavju podrobneje opišemo značilnosti najbolj razširjenih dostopovnih tehnologij in njihovo ustreznost za uporabo pri načrtovanju in gradnji širokopasovnega dostopovnega omrežja, ki ustreza smernicam EDA.

V četrtem poglavju izberemo lokacijo na kateri je glede na smernice EDA potrebna nadgradnja obstoječega omrežja. Ugotovimo, da bakreno omrežje, kljub morebitnim nad-

gradnjam in skrajšavi lokalne zanke, ne ustreza smernicam EDA in da je optično omrežje edini tip omrežja, ki izpolnjuje pogoje predstavljene tako v EDA, kot tudi v DS2020 in Načrt NGN. V nadaljevanju ocenimo potrebne dimenzije omrežja. Ocenimo število potrebnih priključnih točk ob zaključku gradnje omrežja in podamo oceno povečanja tega števila v naslednjih desetih letih. Ocenimo tudi pričakovano obremenitev omrežja in povečanje širokopasovnega prometa v prihodnosti.

Pri izbiri dostopovne tehnologije se odločamo med FTTx (angl. *Fiber To The x*) in GPON tehnologijama. Kljub določenim prednostim FTTx tehnologije se odločimo za izvedbo GPON (angl. *Gigabit-capable Passive Optical Network*) optičnega omrežja in to tudi utemeljimo. V zadnjem razdelku četrtega poglavja poleg izbire tehnologije predstavimo še izbiro posameznih gradnikov omrežja in na zemljevidu lokacije prikažemo lokacijsko umestitev v prostoru. Precej podatkov, ki so uporabljeni v zadnjem poglavju, ni javno dostopnih in so zato navedeni brez virov.

## 2 Smernice EDA in pregled obstoječega širokopasovnega dostopovnega omrežja

V pričujočem poglavju predstavimo pregled smernic povezanih z gradnjo širokopasovnih dostopovnih omrežij, ki so zapisane v Evropski digitalni agendi (EDA) in pregled obstoječega stanja širokopasovnega dostopovnega omrežja v Sloveniji.

Ker se v vseh dokumentih (EDA, Digitalna Slovenija 2020, Načrt razvoja širokopasovnih omrežij naslednje generacije do leta 2020), na katere se navezuje diplomsko delo, kot odločilni parameter navaja izključno hitrost internetnega dostopa v smeri navzdol proti uporabniku (angl. *download*), so tudi v tem diplomskem delu vse internetne hitrosti mišljene kot hitrosti dostopa v smeri proti uporabniku. V posameznih primerih, ko se številke v besedilu nanašajo na hitrost v smeri navzgor od uporabnika (angl. *upload*), je to v besedilu tudi eksplicitno zapisano.

### 2.1 Smernice in cilji Evropske digitalne agende

Evropska digitalna agenda je dokument, ki ga je predstavila Evropska komisija (EK) in je del širše strategije, ki zajema cilje in smernice za rast Evropske unije (EU) na področju širokopasovne povezanosti do leta 2020. EDA predlaga in priporoča boljši

izkoristek informacijsko-komunikacijskih tehnologij z namenom doseganja izboljšav na področju inovativnosti, ekonomske rasti in splošnega napredka. EDA je sestavljena iz sedmih stebrov in njeni glavni cilji so razvoj enotnega digitalnega trga, dostopnost hitrih širokopasovnih povezav vsem prebivalcem EU in izboljšati digitalno pismenost in s tem povezana znanja [1].

### 2.1.1 Četrty steber Evropske digitalne agende

Četrty steber EDA izpostavlja nujnost hitrega dostopa do interneta in kot cilj, ki bi ga morale države članice EU doseči do leta 2020 predlaga, da se vsem prebivalcem držav članic omogoči dostop do interneta s hitrostjo najmanj 30 Mbit/s in najmanj 50% vseh gospodinjstev omogoči dostop do interneta s hitrostjo nad 100 Mbit/s [2].

### 2.1.2 Digitalna Slovenija 2020

Strategija razvoja informacijske družbe do leta 2020 v Sloveniji, ki sledi smernicam zapisanim v EDA, je bila naslovljena v dokumentu Digitalna Slovenija 2020 (DS 2020) [3]. Dodatno je bil, tudi ob upoštevanju Direktive 2014/61/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 15. maja 2014, kjer je navedeno, da bi bilo treba cilje iz EDA, glede na hiter razvoj tehnologij, eksponentnega povečevanja širokopasovnega prometa in rasti povpraševanja po e-storitvah, razumeti kot najnižje možne in bi si morala EU prizadevati za bolj ambiciozne cilje v zvezi s širokopasovnim dostopom, da bi tako dosegla večjo rast, konkurenčnost in produktivnost, v marcu 2015 pripravljen osnutek dokumenta 'Načrt razvoja širokopasovnih omrežij naslednje generacije do leta 2020' (Načrt NGN; angl. *Next Generation Networks*). Načrt NGN je strateški dokument, namenjen določitvi strateških smernic razvoja širokopasovne infrastrukture. Z njim Republika Slovenija naslavlja enega od strateških ciljev pobude Digitalna Slovenija 2020: do leta 2020 želi 98% gospodinjstvom v državi zagotoviti širokopasovni dostop do interneta hitrosti vsaj 100 Mbit/s. S potrditvijo tega dokumenta je izpolnjen predhodni pogoj za izvajanje ukrepov gradnje širokopasovne infrastrukture na belih lisah.

V Načrtu NGN se upoštevajo sledeča dejstva:

- infrastruktura elektronskih komunikacij, ki omogoča širokopasovni dostop do interneta je ključna za njegovo delovanje in uporabo ter kot taka življenjskega pomena in eden od ključnih dejavnikov gospodarskega in družbenega razvoja (podobno kot



so npr. vodovodna, električna ali transportna infrastruktura); zato je njena gradnja v močnem javnem interesu;

- že v Strategiji razvoja širokopasovnih omrežij v Republiki Sloveniji, ki je bila sprejeta leta 2008, je bil določen cilj, da mora biti 90% prebivalcem do leta 2020 omogočena optična povezava do doma (FTTH; angl. *Fiber to the Home*) ali primerljiva zmogljivejša širokopasovna povezava;
- tehnologije mobilnih komunikacij so v funkciji dostopa do interneta komplementarne fiksnim širokopasovnim omrežjem;
- usmeritev EK je takšna, da je treba javna sredstva vlagati v gradnjo širokopasovne infrastrukture na takšen način, da na teh področjih kasneje za končno rešitev ne bo potreben ponovni poseg z javnimi sredstvi; financira se lahko le znaten razvojni preskok;
- v zadnjih trendih gradnje širokopasovne infrastrukture v članicah EU vse bolj prevladujejo cilji doseganja hitrosti 100 Mbit/s in več, čemur moramo slediti, da se ne bomo vnaprej obsodili na razvojno zaostajanje [4].

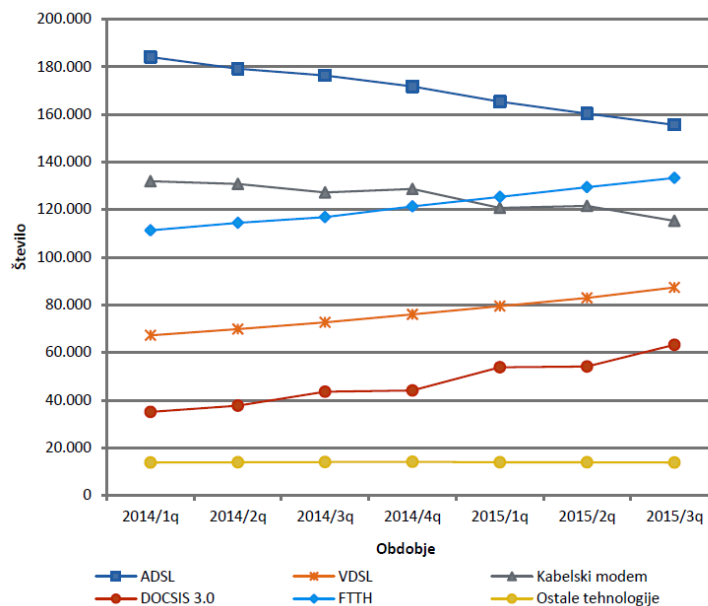
## 2.2 Trenutno stanje omrežja v Sloveniji

Agencija za komunikacijska omrežja in storitve Republike Slovenije (AKOS) vsako četrletje objavi statističen pregled obstoječega stanja širokopasovnega dostopovnega omrežja. Pregled primerja rast (ali padec) števila priključkov po posameznih dostopovnih tehnologijah, na podlagi katerih je razvidna tudi ustreznost priključkov po smernicah EDA.

### 2.2.1 Poročilo AKOS o izpolnjevanju pogojev s strani EDA

Iz poročila 'Poročilo o razvoju trga elektronskih komunikacij za tretje četrletje 2015', ki ga je (AKOS) objavila 15.12.2015, so razvidne naslednje kvantitativne ocene:

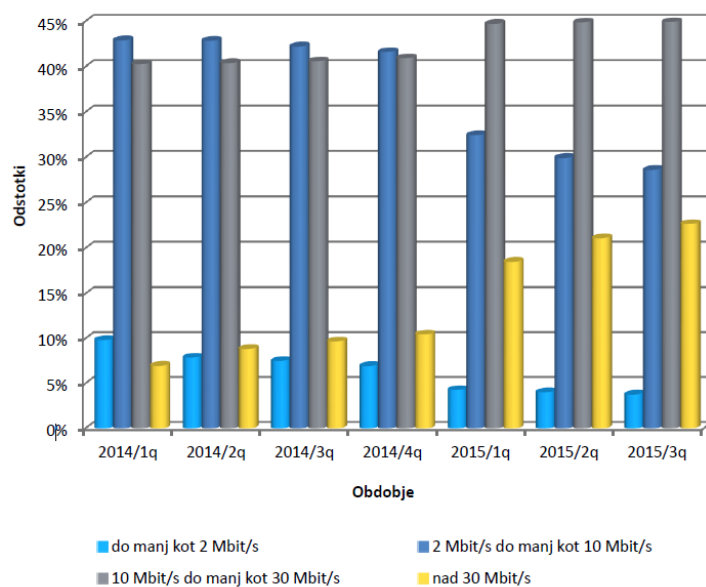
- penetracija širokopasovnega dostopa glede na gospodinjstva je v tretjem četrletju 2015 znašala 72,6%,
- penetracija priključkov širokopasovnega dostopa nove generacije (NGA; angl. *Next Generation Access*) do interneta znaša 35,3%,



Slika 2.1 Število priključkov po dostopovnih tehnologijah.

- med tehnologijami ima največji tržni delež ADSL (angl. *Asymmetric Digital Subscriber Line*) dostop z 27,4%, sledijo FTTH 23,4%, kabelski dostop (brez DOCSIS 3.0 (angl. *Data Over Cable Service Interface Specification*)) z 20,3%, VDSL (angl. *Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line*) 15,4%, DOCSIS 3.0 11,1%, ostale tehnologije skupaj pa dosegajo 2,4%,
- iz grafa na sliki 2.1 je razvidno, da povezljivost preko starejših tehnologij (ADSL, DOCSIS 2.0) upada, medtem ko povezljivost preko tehnologij naslednje generacije (FTTH, DOCSIS 3.0) konstantno raste.

Tudi pri hitrostih širokopasovnega dostopa se trend ujema s predvidevanji in smernicami EU. Povišuje se delež uporabnikov s hitrostmi 30 Mbit/s ali več in je po koncu prvega četrtletja 2015 znašal 22,7%. Z 44,9% je še vedno največji delež uporabnikov, ki se odločijo za hitrosti od 10 Mbit/s do 30 Mbit/s, z 28,6% deležem pa sledijo uporabniki s hitrostmi od 2 Mbit/s do 10 Mbit/s [5]. Primerjava rasti in padcev deležev priključkov po posameznih hitrostih je razvidna iz grafa na sliki 2.2 in tabele 2.1.



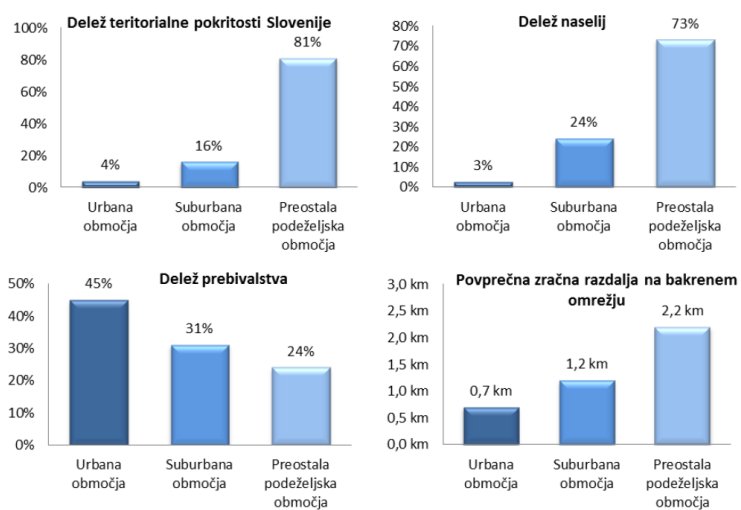
Slika 2.2 Število priključkov po hitrostih dostopa do interneta.

hitrost/obdobje	2014/1q	2014/3q	2015/1q	2015/3q
do manj kot 2 Mbit/s	9,8	7,5	4,3	3,8
2 Mbit/s do manj kot 10 Mbit/s	42,9	42,2	32,5	28,6
10 Mbit/s do manj kot 30 Mbit/s	40,3	40,6	44,7	44,9
nad 30 Mbit/s	7,0	9,7	18,5	22,7

Tabela 2.1 Število širokopasovnih priključkov po hitrostih v odstotkih.

### 2.2.2 Primerjava z EU ob upoštevanju vpliva geografske razpršenosti

Po podatkih za začetek tretjega četrtletja 2014 iz poročila Digitalne agende za Evropo, ki ga je pripravila Evropska komisija, v EU povprečna pokritost gospodinjstev s standardnimi širokopasovnimi omrežji znaša 97,2%, v 12 državah članicah pa pokritost presega 99%. Slovenija v tem segmentu z 71,6% pokritostjo krepko zaostaja za povprečjem EU. Iz istega poročila je razvidno tudi to, da je Slovenija nad evropskim povprečjem pri tržnih deležih NGA priključkov širokopasovnega dostopa (FTTH, FTTB (angl. *Fiber To The Building*), VDSL, Docsis 3.0 in drugi NGA) glede na vse fiksne širokopasovne priključke. Med naprednejšimi državami smo tudi v pogledu dostopovnih tehnologij naslednje generacije na podeželju. Vendar pa je trend zaostajanja Republike Slovenije pri razvoju širokopasovne infrastrukture v zadnjih letih vseeno izrazit in se povečuje. Tako po penetraciji širokopasovnega dostopa vedno bolj zaostajamo za evropskim povprečjem, kar je posledica počasnejše gradnje širokopasovne infrastrukture v primerjavi z ostalimi državami EU. Delni vzrok za slabo stanje širokopasovne infrastrukture na podeželskih področjih, kar moramo upoštevati tudi pri načrtovanju nadaljnjega razvoja, je izrazito razpršena poseljenost slovenskega podeželja. Kot je prikazano na sliki 2.3, je Slovenija država z redko poseljenostjo na veliki večini ozemlja, kamor spada skoraj četrtina vseh gospodinjstev. Urbana področja (163 naselij oziroma 3% vseh naselij) pokrivajo 4% teritorialne površine Slovenije, v njih pa živi 45% prebivalcev. Povprečna zračna razdalja od naročniške lokacije do aktivnih naprav, ki omogočajo širokopasovnost, je na bakrenem omrežju za ta del naselij 0,7 km. Suburbanih naselij je 1.453 oziroma 24% vseh naselij, pokrivajo 16% teritorialne površine Slovenije, v njih živi 31% prebivalcev, povprečna zračna razdalja na bakrenem omrežju pa je 1,2 km. Preostala ruralna področja (4.420 naselij oziroma 73% vseh naselij) pokrivajo kar 81% teritorialne površine Slovenije, v njih pa živi samo 24% prebivalcev Slovenije. Povprečna zračna razdalja na bakrenem omrežju v teh naseljih je 2,2 km [6].



Slika 2.3 Geografska razpršenost prebivalstva v Sloveniji.



### 3 Tehnologije obstoječih dostopovnih širokopasovnih omrežij

Pri pregledu obstoječega stanja števila širokopasovnih priključkov po različnih dostopovnih tehnologijah se srečamo z neskladnim poimenovanjem različnih dostopovnih tehnologij, oz. s poimenovanjem, ki je bolj smiselno s strani uporabnika kot stroke. Že pri statistiki števila priključkov, ki jo vodi AKOS, prihaja do neskladij. Praviloma se kot tehnično rešitev uporablja tehnologijo, ki je uporabljena na zadnjem metru povezave do naročnika. Tako se pod številom VDSL priključkov vodijo tisti, ki so v celoti realizirani preko bakrenega omrežja, kot tudi tiste priključne točke, ki so grajene po topologiji FTTN (angl. *Fiber To The Node*), FTTC (angl. *Fiber To The Cabinet/Curb*) in v nekaterih primerih tudi FTTB. Prav zaradi teh neskladij, ki so za naročnika in uporabnika internetnega dostopa in storitev sicer nepomembna, je težko točno opredeliti število priključkov, ki že sedaj ustrezajo smernicam in zahtevam po EDA. Npr. VDSL priključek, ki je v celoti realiziran preko bakrenega omrežja, v večini primerov ne ustreza smernicam, ki zahtevajo internetne hitrosti 30 Mbit/s in več, po drugi strani pa nekateri FTTN in večina FTTC priključkov, ki so v zadnjem metru realizirani z bakrenimi povezavami in strankam omogočajo storitve preko VDSL tehnologije, omogočajo hitrosti blizu ali več

kot 100 Mbit/s, kar že zadostuje tudi smernicam EDA.

Dodatna neskladja se pojavijo tudi na optičnih omrežjih. Kot FTTH omrežje se opredeljuje topologija omrežja, ki omogoča 'point to point' povezave, GPON (Gigabitno pasivno optično omrežje; angl. *Gigabit-capable Passive Optical Network*) omrežje (čeprav je tehnično gledano v večini primerov tudi tipa FTTH) pa se opredeljuje kot 'point to multipoint' omrežje.

Prav tako prihaja do neskladij pri poimenovanju tipa dostopa. Na eni strani priključne točke realizirane na bakrenem omrežju poimenujemo kot ADSL ali VDSL priključke, na optičnem omrežju pa govorimo o FTTH, GPON ali kabelskih priključkih (ki so v večji meri realizirani po topologiji omrežja HFC (angl. *Hybrid Fiber Cable*), v zadnjem času pa deloma tudi GPON). Čeprav v primeru xDSL (angl. *x Digital Subscriber Line*) priključkov povzamemo ime tehnologije prenosa, v primeru optičnih priključkov pa povzamemo topologijo omrežja.

Prav zaradi teh neskladij je obstoječa statistika obstoječih priključnih točk precej vprašljiva. V tem delu se bo v večini primerov uporabljala terminologija, ki je prisotna v praksi, razen v primerih, ko bi napačno poimenovanje privedlo tudi do napačnih zaključkov.

### 3.1 Bakreno omrežje in xDSL priključki

V tem razdelku se bomo omejili predvsem na priključke preko ADSL in VDSL povezav in njunih različic. Čeprav so v praksi prisotne tudi druge tehnologije (npr. SHDSL (angl. *Symmetrical High-speed Digital Subscriber Line*)), jih tu ne bomo omenjali, ker se v praksi pojavljajo v malem številu primerov, predvsem ko druge, bolj pogoste rešitve niso možne (npr. EMX priključki).

#### 3.1.1 ADSL

ADSL (angl. *Asymmetric Digital Subscriber Line*) je komunikacijska tehnologija, ki je bila razvita konec osemdesetih let prejšnjega stoletja in omogoča širokopasoven prenos podatkov po bakrenem omrežju. ADSL tehnologija je bila po standardu ANSI T1.413 prvič definirana leta 1995 s strani ANSI (American National Standards Institute). Kasnejši standardi so bili definirani s strani ITU (International Telecommunication Union). Vrsta standardov je definirala uporabo tehnologije preko POTS (angl. *Plain Old Telephone Service*) in ISDN (angl. *Integrated Services Digital Network*) povezav, ter različnih fre-



kvenčnih območjih, ki vplivajo predvsem na najdaljšo razdaljo med DSLAMom (angl. *Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) in končnim uporabnikom tehnologije. ADSL2+ standard, ki je trenutno v uporabi in je najbolj razširjen, je bil sprejet med leti 2003 in 2005 (ITU G.992.5). Tehnologija temelji na ločevanju informacijskih kanalov po različnih frekvenčnih območjih. Najmanjši za pretok analognega zvoka (telefonskega pogovora) je med frekvenčnim območjem 0 in 4 kHz, srednji med 25.875 kHz in 138 kHz se uporablja za prenos podatkov od uporabnika in največji med 138 kHz in 1.1 MHz za prenos podatkov proti uporabniku, do 2.2 MHz v primeru standarda ADSL2+ (ITU G.992.5).

ADSL tehnologija je razcvet doživela v poznih devetdesetih letih prejšnjega stoletja, v Sloveniji pa se je pričela uporabljati leta 2002. Velika razširjenost tehnologije temelji predvsem na relativno enostavni uporabi obstoječega bakrenega omrežja in tudi (za tiste čase) dobrih zmogljivostih standarda. Začetni standard je pri prenosih k uporabniku omogočal hitrosti do 8 Mbit/s in pri prenosih od uporabnika do 1 Mbit/s. Standard ADSL2+ omogoča teoretični prenos k uporabniku do hitrosti 24 Mbit/s. Poleg višjih hitrosti ADSL2+ prinaša tudi možnost združevanja vrat (angl. *port bonding*), kar še poveča teoretično hitrost k uporabniku. Ta princip se v praksi praktično ne uporablja.

Tehnologiji se pozna, da je v uporabi že precej časa, saj je bila skozi leta dodobra optimizirana in izkoriščena. V realnem svetu so hitrosti okoli 20 Mbit/s bolj pravilo kot izjema (seveda ob pogoju ustrezne razdalje do DSLAMa in kvalitetne bakrene povezave oz. mreže). Morda je še bolj impresivno dejstvo, da se je močno povečala razdalja, na kateri se vključujejo komercialni priključki s storitvami trojčka (internet, VoIP (angl. *Voice over IP*) telefonija in IPTV (angl. *Internet Protocol Television*)), ki zdaj dosega do 6 kilometrov. Ta preskok seveda ni izključno zaradi izboljšav obstoječe ADSL tehnologije, temveč tudi zaradi napredka pri kodiranju signala IPTV, istočasno pa se moramo zavedati, da nazivne hitrosti do 24 Mbit/s na tej razdalji seveda niso možne.

Prav zaradi relativno velikega dosega in preproste uporabe so po podatkih AKOSa priključki, ki uporabljajo ADSL tehnologijo in njene izpeljanke (kot omenjeno že v besedilu zgoraj se v Sloveniji največ uporablja ADSL2+), še vedno najbolj pogosti.

Prav ti priključki, ki so zaradi razdalje od centrale in odsotnosti optičnega omrežja na lokaciji naročnika edina tehnična rešitev za izvedbo širokopasovnega internetnega dostopa, so največja šibka točka trenutnega dostopovnega omrežja v Sloveniji.

### 3.1.2 VDSL

VDSL (angl. *Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line*) je komunikacijska tehnologija, ki preko obstoječega bakrenega omrežja zagotavlja večje hitrosti prenosa kot pred njo razvita ADSL. VDSL je bil prvič standardiziran leta 2001 (ITU G.993.1), relativno hitro leta 2006, pa je doživel tudi prvo večjo spremembo oz. nadgradnjo na standard VDSL2 (ITU G.993.2). Podobno kot ADSL, tudi VDSL temelji na izkoriščanju višjih frekvenc in uporabi le teh za prenos podatkov po obstoječih bakrenih parih. Za razliko od ADSLja, ki v izvedbi ADSL2+ uporablja frekvence do 2.2 MHz, so pri VDSL tehnologiji uporabljene še višje frekvence, vse do 30 MHz pri VDSL2 standardu. Pri teh frekvencah je teoretična hitrost prenosa k uporabniku do 200 Mbit/s.

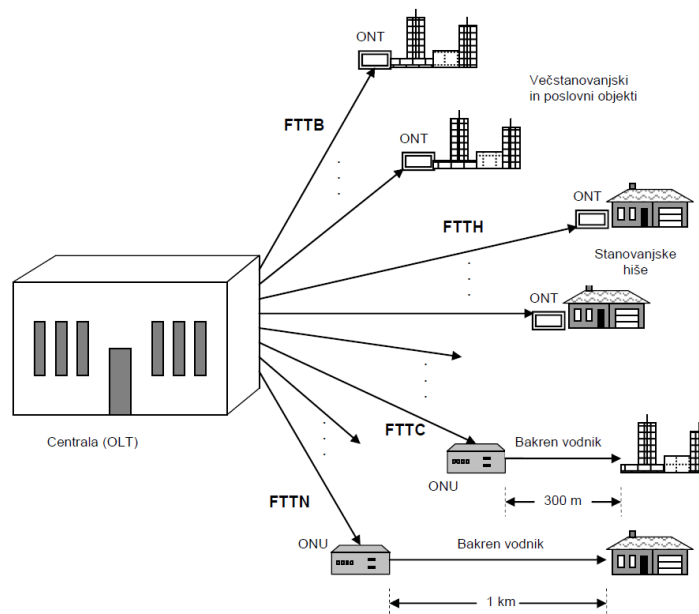
Standard VDSL2 (oz. njegove različice, kot je npr. VDSL2b, ki omogoča prenos na večjih razdaljah) je v uporabi tudi v Sloveniji. Z uporabo se je začelo že kmalu po formalizaciji standarda v letu 2007.

V praktični uporabi se je VDSL izkazal kot zelo zmogljiva tehnologija za doseganje velikih hitrosti na obstoječem omrežju. Istočasno je tehnologija precej bolj občutljiva na razdaljo oz. dolžino lokalne zanke. V začetku se je VDSL uspešno uporabljal le na razdalji do 300 metrov, po spremembah in nadgradnji standarda pa se je razdalja na kateri se trenutno uporablja VDSL2b verzija tehnologije dvignila na 1.500 metrov. Še vedno pa se optimalne rezultate, kjer se modem sinhronizira na hitrosti nad ali blizu 100 Mbit/s, dosega na razdalji do 200-300 metrov. Število naročnikov, ki lahko izkoristijo takšne dostopovne hitrosti, se veča tudi zaradi bolj optimiziranega načina gradnje (FTTN in FTTC), ter gradnje telekomunikacijskih omar na ruralnih območjih.

Zaradi precejšnega preskoka pri hitrosti v primerjavi s starejšo ADSL tehnologijo, ter zaradi uspešne nadgradnje omrežja s strani ponudnikov, je po AKOSu VDSL tehnologija na drugem mestu po številu uporabnikov v Sloveniji.

## 3.2 Optično omrežje

V tem razdelku se bomo omejili na FTTH (najpogosteje grajen 'point to point' tip omrežja) in GPON (najpogosteje grajen 'point to multipoint' tip omrežja) priključke.



Slika 3.1 Primerjava različnih izvedb optičnega omrežja - FTTx.

### 3.2.1 FTTx

FTTx (angl. *Fiber To The x*) je tehnologija, ki za prenos podatkov do končnega uporabnika vključuje optično omrežje. Glede na različne pristope gradnje omrežja se optično omrežje lahko zaključi na priključni točki uporabnika (FTTH, angl. *Fiber To The Home*), v stavbi končnega uporabnika (FTTB, angl. *Fiber To The Building*) ali v telekomunikacijski (TK) omarici pred zaključenim naseljem/sosesko (FTTN, angl. *Fiber To The Node*; FTTC, angl. *Fiber To The Curb/Cabinet*). Grafičen prikaz razlik med različnimi izvedbami FTTx je prikazan na sliki 3.1.

Zaradi težav oz. neskladij pri poimenovanju priključkov opisanih v začetku poglavja, se pri FTTx topologiji osredotočamo predvsem (ali samo) na FTTH priključke. FTTH različica je tudi daleč najbolj pogost način gradnje FTTx omrežja v Sloveniji.

Kot že samo ime pove se pri FTTH omrežju povezava od centrale (OLT, angl. *Optical Line Terminal*) do naročnika (ONT, angl. *Optical Network Terminal*) izvede izključno prek optične napeljave. FTTH omrežje se lahko gradi z dvema (dvovlakensko) ali enim vlaknom (enovlakensko) na uporabnika. V obeh primerih pa gre za 'point to point' topologijo. Gradnja omrežja je odvisna od ponudnika storitev oz. upravitelja omrežja.

V primeru dvovlakenske gradnje prevladujeta dva načina distribucije signala. Pri prvem načinu se po enem vlaknu odvija promet proti uporabniku, po drugem pa od uporabnika. Pri drugem načinu distribucije se po enem vlaknu odvija promet navzgor in navzdol, po drugem pa se vrši prenos signala analogne TV (ki je lahko v analogni ali digitalni obliki). V primeru enovlakenskega omrežja celoten promet seveda poteka na enem vlaknu na različnih valovnih dolžinah.

V manjšem številu se pojavljajo tudi različici FTTN in FTTC, pri katerih je zadnji meter omrežja grajen s koaksialnimi kabli ali bakrenimi povezavami (na katerih se potem uporablja VDSL tehnologija). Točne številke uporabnikov na FTTN različici omrežja so nejasne, predvsem ker se pri štetju in statistikah večinoma upošteva tehnologija po kateri je zgrajen zadnji meter omrežja, tako da se uporabnike šteje kot naročnike kablanskega ali VDSL omrežja. V Sloveniji je prisotna tudi verzija FTTB, ki pa je manj pogosta kot zgornji dve (FTTH in FTTN). Razlog je predvsem v topologiji omrežja, ki pri takem načinu gradnje zahteva še poseg oz. prostor v stavbi naročnika, kar gradnji prinese še dodatno dimenzijo z urejanjem lastniških pravic in posega v prostor.

Posebnost FTTx tehnologije je, da omogoča visoke simetrične hitrosti od in do uporabnika. Velikokrat se opisuje kot tehnologija, ki je 'odporna na prihodnost'. Izraz je nastal na podlagi dejstva, da samo FTTH omrežje omogoča precej višje hitrosti, kot se trenutno ponujajo v komercialnih paketih (razen nekaj izjem). Pri FTTH modelu je trenutno večina uporabnikov omejena na hitrosti do 100 Mbit/s, nadgradnje do hitrosti 1 Gbit/s pa so možne že z manjšimi spremembami v opremi (največkrat je dovolj zamenjava naročniške plošče, lahko pa je potrebna tudi zamenjava terminalne opreme pri uporabniku) brez posegov v kabelsko omrežje, kar naredi potencialno nadgradnjo na višje hitrosti relativno poceni in predvsem hitro/enostavno.

Gradnja optičnega omrežja se je v Sloveniji začela leta 2005. Največji razmah je doživela v letih 2007 do 2010. Iz poročila AKOSa za prvo četrtletje 2015 je razvidno, da število uporabnikov na FTTH omrežju konstantno raste in po deležu glede na celotno število uporabnikov že presega povprečje v EU.

### 3.2.2 GPON

Optično omrežje tipa PON (angl. *Passive Optical Network*) je tip omrežja, ki se v Sloveniji gradi šele nekaj let. Poznamo več vrst PON omrežij (BPON (angl. *Broadband PON*), EPON (angl. *Ethernet PON*), GPON). V praksi se izvaja večinoma gradnja GPON

omrežja, ki od našetih tipov omogoča največje hitrosti prenosa podatkov. Omrežja se med seboj bistveno ne razlikujejo po načinu gradnje oz. topologiji. Največja razlika je v načinu prenosa podatkov (BPON uporablja ATM (angl. *Asynchronous Transfer Mode*) prenosno tehnologijo, EPON uporablja Ethernet, GPON pa kombinacijo obojega).

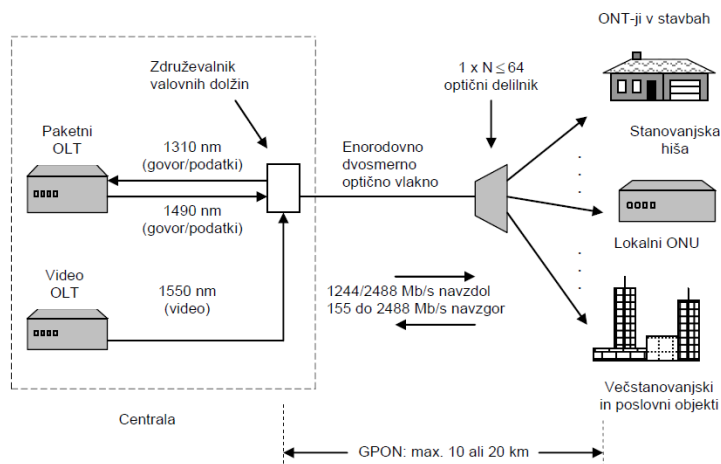
V tem delu se bomo omejili zgolj na GPON. Kot prvi so se gradnje po topologiji GPON lotili pri enem od OŠO (Odprto Širokopasovno Omrežje) upraviteljev, ter največjem ponudniku storitev na kabelskem omrežju (v tem primeru se po koaksialnem kablu gradi samo notranja instalacija pri naročniku storitev). V letu 2016 gradnjo GPON omrežja izvaja tudi nacionalni operater telekomunikacij.

GPON topologija je tipa 'point to multipoint', kjer se na lokaciji čim bližje končnim uporabnikom postavi delilnik, do katerega iz OLTja poteka povezava po enem optičnem vlaknu, potem pa se ta razcepi (v večini primerov je razmerje razcepa 1/32 ali 1/64, v praksi se uporablja tudi dvojni delilnik, 1/2 na centrali in 1/32 na delilniku v bližini naročnika). Primer izgradnje z 1/64 delilnikom je prikazan na sliki 3.2. Zaradi topologije je ta način gradnje cenejši, kot FTTH gradnja opisana v prejšnjem razdelku. Razlika nastane pri montažnih delih na razdalji od centrale do delilnika in se ocenjuje na cca 50 EUR nižji strošek gradnje po naročniku v primerjavi z FTTH gradnjo (oz. cca 100 EUR v primeru dvovlakenkrega FTTH omrežja) [10]. Ta razlika v praksi ni tako velika, ker so pri GPON omrežju aktivni gradniki omrežja (tako na centrali, kot pri končnem uporabniku) večinoma dražji (in/ali slabše izkoriščeni), kot pri FTTH načinu gradnje.

Zaradi skupne uporabe enega vlakna (do delilnika) je GPON omrežje bistveno manj fleksibilno pri nadgradnjah hitrosti do končnega uporabnika, kot je FTTH omrežje. Preko ene OLT enote je omejitev prenosa podatkov do končnega naročnika približno 2,5 Gbit/s. Ob najpogostejši vrednosti razmerja razcepa 1/64 je povprečna hitrost do vsakega naročnika (ob 100% obremenjenosti omrežja, ki se v praksi sicer praviloma ne zgodi) približno 40 Mbit/s.

Možnosti za nadgradnjo zmogljivosti so seveda tudi pri GPON omrežju. Ena od možnih nadgradenj GPON omrežja je sprememba dostopovne metode iz TDMA (angl. *Time Division Multiple Access*), ki je v uporabi pri večini obstoječih GPON omrežjih, v WDMA (angl. *Wavelength Division Multiple Access*) [9]. Vsaka taka nadgradnja pa bi bila tehnično, časovno in finančno precej bolj zahtevna, kot primerljiva nadgradnja na FTTH omrežju.

Prav zaradi manjših oz. zapletenejših možnosti nadgradnje omrežje zgrajeno po



Slika 3.2 Primer izvedbe omrežja GPON.

GPON topologiji z vidika smernic EDA ni tako primerno za gradnjo, kot FTTH omrežje. Če je cena edini (ali vsaj glavni) razlog, ki odločitev pri gradnji optičnega omrežja prevaga v smeri GPON omrežja, potem bi bilo smiselno na nivoju države (AKOS) poiskati finančne vzvode, ki bi tehniko pri tej odločitvi bolj nagibali k gradnji FTTH omrežja.

### 3.3 Kabelsko omrežje

DOCSIS (angl. *Data Over Cable Service Interface Specification*) je mednarodni komunikacijski standard, ki omogoča širokopasovni prenos podatkov po obstoječem kabelskem oz. HFC (angl. *Hybrid Fibre Cable*) omrežju.

Trenutno je v uporabi DOCSIS 3.x standard. DOCSIS 3.0 je bil prvič definiran v letu 2006 in je bil kasneje nadgrajen s standardom DOCSIS 3.1, ki je bil definiran leta 2013. DOCSIS 3.1 v teoriji omogoča prenos k uporabniku s hitrostjo 10 Gbit/s in prenos od uporabnika s hitrostjo 1 Gbit/s. V praksi so te vrednosti nižje in so odvisne od same gradnje omrežja (pogoj uporabe DOCSIS standarda je HFC omrežje, sama hitrost pa je potem odvisna še od števila kanalov, ki jih omogoča oprema (CMTS (angl. *Cable Modem Termination System*)) in tudi od dejstva, da je v večini primerov kapaciteta povezave deljena na več uporabnikov.

V Sloveniji so bila prva kabelska omrežja na standard DOCSIS 3 nadgrajena v letu 2009. Tipične maksimalne vrednosti prenosa podatkov so 200 Mbit/s k uporabniku in

108 Mbit/s od uporabnika, možne pa so tudi hitrosti do 400 Mbit/s k uporabniku.

Število uporabnikov, ki imajo možnost dostopa preko DOCSIS 3 in več se povečuje tudi zaradi tega, ker se povečuje število zgrajenih kabelskih priključkov, ki so v omrežje vključeni preko optičnega (GPON) omrežja. Po tem omrežju se kabelske storitve do končnega uporabnika prenašajo v celoti po optičnem (GPON) omrežju, samo notranji razvod po hiši (ali stanovanjski enoti) pa je realiziran s koaksialnim kablom.

### 3.4 Satelitski internet

Satelitski internet je dostop do interneta preko geostacionarnega satelita. Z uporabo zunanje satelitske antene in modema je preko satelitske povezave možno dostopati do interneta s katerekoli lokacije v Sloveniji pod pogojem, da je s te lokacije omogočeno vidno polje na satelit, preko katerega se vrši dostop.

Storitve, ki jih omogoča satelitski dostop se sicer razlikujejo od ponudnika do ponudnika, splošno gledano pa zajemajo vse tri storitve, ki jih koristijo tudi uporabniki klasičnih povezav (internet, telefonija, TV).

Takšen tip dostopa se srečuje s težavami, ki jih pri drugih tehnologijah ni. Ena od možnih težav je visoka latenca, ki jo je možno zmanjšati z nižjo orbito satelita. Težave povzročajo tudi pogoste vremenske motnje in motnje signala s strani objektov, ki so v (ali blizu) vidnemu polju med anteno in satelitom (npr. ozelenitev dreves, gradnja stanovanjskih ali gospodarskih objektov, itd.). Največja praktična ovira je v tem, da je pri uporabi satelitskega interneta uporabnik omejen s količino prenešenih podatkov.

Z letom 2013 so prišli v uporabo sateliti, ki omogočajo hitrosti do 155 Mbit/s pri prenosu do uporabnika in 6 Mbit/s pri prenosu od uporabnika. V Sloveniji je trenutno najvišja hitrost, ki je omogočena uporabnikom 40 Mbit/s, z omejitvami okoli 100 GB prenesenih podatkov na mesec.

Zgornja rešitev je idealna pri reševanju širokopasovnega dostopa do specifičnih uporabnikov, kot so npr. planinske koče, težje dostopni avtokampi in druge turistične točke. Zaradi zgoraj opisanih težav in lažje, ter cenejše izvedljivih drugih rešitev tehnologija ni uporabna za povprečnega uporabnika.

### 3.5 Mobilno omrežje četrte generacije - LTE

Mobilno omrežje četrte generacije oz. LTE (angl. *Long Term Evolution*) omrežje se je v Sloveniji pričelo graditi deloma že pred tremi leti. Gradnja je v letu 2015 dosegla takšen obseg, da lahko storitve preko LTE omrežja uporablja velika večina prebivalstva.

V letu 2015 je nacionalni operater telekomunikacij ponudil tudi prve komercialne pakete s storitvami trojčka na mobilnem omrežju.

LTE standard omogoča hitrosti do 300 Mbit/s v smeri proti uporabniku in 75 Mbit/s v smeri od uporabnika (če predvidevamo, da se uporablja 20 MHz pasovna širina). V praksi se teoretične vrednosti omejujejo predvsem z razpoložljivo pasovno širino, številom anten (večinoma 2x2 MIMO (angl. *Multiple Input and Multiple Output*), možnost nadgradnje na 4x4 ali 8x8) in tudi modulacijo (trenutno v uporabi 16 QAM (angl. *Quadrature Amplitude Modulation*), v prihodnosti 64 QAM). Trenutno se v praksi dosega največje hitrosti do 160 Mbit/s v smeri proti uporabniku in 80 Mbit/s v smeri od uporabnika. Z nadgradnjo baznih postaj z antenami 4x4 MIMO bi se hitrost povečala na 360 Mbit/s v smeri proti uporabniku. Druga možnost za povečanje hitrosti je združevanje kanalov. Trenutno je možno združevanje do treh kanalov, kar bi omogočalo hitrost do 450 Mbit/s. Te rešitve se v praksi trenutno (še) ne uporablja, poleg ustrezne strojne nastavitve na bazni postaji pa ta rešitev zahteva tudi uporabo ustreznih naročniških terminalov (telefonov).

Bolj kot teoretične vrednosti pa nas v tem delu zanima praktična uporabnost za končnega uporabnika, oz. tehnične rešitve, ki bi omogočale zadostitev smernic po EDA. V tem primeru je bolj smiselno upoštevati omejitve, ki se pojavijo pri uporabnikih storitve trojček. Pri uporabi samo internetnega dostopa je nihanje hitrosti ob vključevanju dodatnih uporabnikov ali sprememb kvalitete radijskega signala bistveno manj pomembno kot pri uporabnikih storitev trojčka. Če upoštevamo širokopasovno širino 20 MHz in dejstvo, da se vsakemu uporabniku dodeljujejo resursni bloki (RB) širine 180 Hz, imamo na eni celici lahko istočasno 100 uporabnikov storitve. Ker so na vsaki bazni postaji načeloma tri celice lahko zaključimo, da se pri uporabi internetega dostopa preko LTE tehnologije na eno bazno postajo vključi do 300 uporabnikov. Pri uporabi storitve IPTV je ta številka občutno manjša. Že v primerih, ko imajo uporabniki dober radijski signal, se pri uporabi storitve enemu uporabniku istočasno dodeli tri RB (pri tem upoštevamo, da TV signal uporablja video tok s pretokom približno 2,5 Mbit/s). Če je uporabnik v



povprečnih radijskih pogojih se uporabi do 7 RB, v robnih pogojih pa ta številka močno naraste in lahko presega tudi dvajset RB. Na eni celici imamo tako lahko istočasno dva do tri uporabnike storitve TV. Se pravi lahko ena bazna postaja zagotovi storitev največ šest do devet uporabnikom.

Mobilno omrežje in tehnologija LTE zadostuje smernicam EDA kot dostopovno omrežje, ki dopolnjuje fiksno dostopovno omrežje in se kot primerna rešitev izkaže predvsem na ruralnih področjih, ki so težje dostopna in ki imajo manjše število uporabnikov širokopasovnih storitev.



## 4 Načrt izgradnje širokopasovnega dostopovnega omrežja

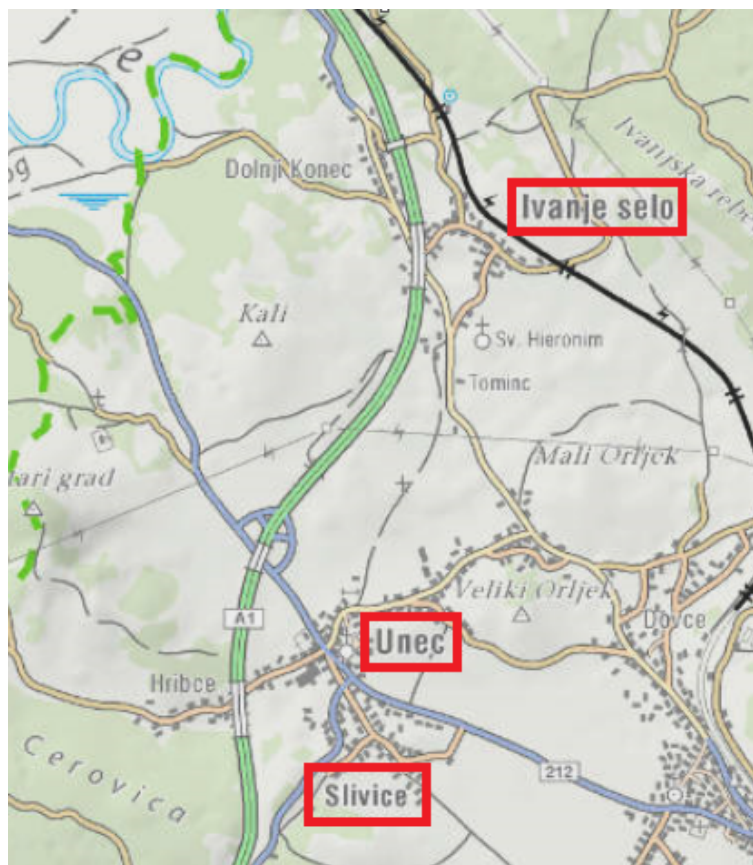
V pričujočem poglavju predstavimo primer načrtovanja širokopasovnega dostopovnega omrežja po smernicah EDA. Načrt predvideva izgradnjo širokopasovnega dostopovnega omrežja na lokaciji, kjer trenutno ni možno naročiti širokopasovnega dostopa, ki bi ustrezal smernicam EDA.

### 4.1 Analiza izbrane lokacije

V pričujočem razdelku predstavimo geografsko umestitev izbrane lokacije za omreženje v širše okolje, opišemo lokacijo, število gospodinjstev in stanje obstoječega širokopasovnega dostopovnega omrežja.

#### 4.1.1 Izbira lokacije

Kot primerno lokacijo smo izbrali naselje Unec v občini Cerknica. Pri izbiri lokacije smo upoštevali, da gre za ruralno območje, gručasto naselje (tip naselja, ki je v Sloveniji pogost, ter istočasno bolj zahteven za gradnjo infrastrukture kot npr. obcestno ali strnjeno naselje), z relativno majhnim številom gospodinjstev, vendar istočasno geografsko precej



Slika 4.1 Izbrano območje prikazano na topografski karti.

razpršeno.

Poleg naselja Unec je v izdelavi načrta gradnje potrebno upoštevati tudi naselji Ivanje selo in Slivice, ki skupaj z Uncem tvorita zaključeno geografsko in infrastruktarno enoto. Celotno območje je prikazano na zemljevidu na sliki 4.1.

#### 4.1.2 Število prebivalcev in gospodinjstev

Pri načrtovanju gradnje širokopasovnega dostopnega omrežja upoštevamo število gospodinjstev na lokaciji. Izhajamo iz sklepa, da se načeloma na eno gospodinjstvo potrebuje en širokopasovni priključek. Pri oceni bremena, je vsaj deloma potrebno upoštevati tudi število prebivalcev, ker se uporaba širokopasovnih storitev poveča s številom članov v posameznem gospodinjstvu.

V tabeli 4.1 so predstavljeni podatki o številu gospodinjstev v letih 2011 in 2015, kot

naselje/leto	2011	2015
Unec	198	223
Slivice	58	61
Ivanje selo	80	77
SKUPAJ	336	361

**Tabela 4.1** Število gospodinjstev v izbranih naseljih.



**Slika 4.2** Razpršenost gospodinjstev v naseljih Unec in Slivice.

jih je pripravil Statistični urad Republike Slovenije (SURS). Od treh naselij v izbranem območju je največje naselje v letu 2015 Unec z 223 gospodinjstvi, sledi naselje Ivanje selo z 77 gospodinjstvi in nato še Slivice z 61 gospodinjstvi. Skupaj je bilo v izbranem območju leta 2015 registriranih 361 gospodinjstev. Razpršenost gospodinjstev je razvidna iz grafičnega prikaza na slikah 4.2 in 4.3.

#### 4.1.3 Trenutno stanje omrežja

Eden od kriterijev pri izbiri lokacije je bil ta, da na lokaciji trenutno omrežje ne zadostuje smernicam, ki jih v EDA predpisuje EU. Trenutno je na lokaciji prisotno samo bakreno dostopovno omrežje, ki omogoča storitve preko tehnologije ADSL, ki v nobenem primeru ne omogoča internetnih hitrosti nad 30 Mbit/s, ki jih kot minimalni pogoj predpisuje



Slika 4.3 Razpršenost gospodinjstev v naselju Ivanje selo.

EDA.

Povprečna zračna razdalja bakrene zanke na lokaciji dosega 2,6 km, kar je nekoliko nad povprečjem ruralnih območij v Sloveniji (kot je to opisano v razdelku 2.2.2). Največja razdalja bakrene zanke dosega 10 km. Povprečna dostopovna hitrost na vključenih priključkih na lokaciji je 9,6 Mbit/s. Najnižja izmerjena hitrost je 4,5 Mbit/s, kar še zadostuje za storitev trojček, seveda pa ni niti blizu parametrom, ki jih za prihodnost v svojih dokumentih priporoča EU.

Po podatkih nacionalnega operaterja na lokaciji približno 35 gospodinjstev ni možno zagotoviti širokopasovnega priključka. Poleg prevelike razdalje je razlog tudi prezasedenost omrežja (ni prostih bakrenih parov in zasedenost telekomunikacijskih izvodov (TKI)). Prav zaradi tega so na lokaciji prisotni tudi WLL (angl. *Wireless Local Loop*) priključki.

Na lokaciji sicer ni PCM (ali drugih večkanalnih) priključkov, vendar zaradi razvejanosti in razdalj na lokaciji gradnja FTTN ali FTTC omrežja ni smiselna, ker pri tej rešitvi, kljub nadgradnji omrežja, ne bi bilo možno zagotoviti ustreznih dostopovnih hitrosti pri vseh končnih uporabnikih. Na lokaciji je smiselna zgolj gradnja optičnega omrežja, po FTTH ali po GPON topologiji.

## 4.2 Dimenzije omrežja in ocena bremena

V pričujočem razdelku bomo ocenili potrebne dimenzije omrežja, tako z vidika števila potrebnih priključkov, kot tudi z vidika obremenjenosti in prepustnosti omrežja glede na tip uporabnikov.

### 4.2.1 Ocena števila potrebnih priključkov omrežja na izbrani lokaciji

Za oceno števila potrebnih širokopasovnih priključkov na lokaciji za osnovo uporabimo podatke o številu gospodinjstev in prirastu le teh v zadnjih štirih letih. Po podatkih, dostopnih na SURSu je skupno število gospodinjstev na obravnavanem območju leta 2015 znašalo 361 enot. Število gospodinjstev se je v štirih letih od leta 2011 povečalo za 25 enot, kar znaša približno 7,5% prirastek. Smiselno je predvidevati, da bo rast števila gospodinjstev v prihodnje dosegala podobne vrednosti in da se bo število v naslednjih desetih letih povečalo še za 60 enot (upoštevamo absolutne številke prirasta, ne odstotkovne vrednosti) in bo tako znašalo 421 enot.

Poleg statističnih podatkov o številu gospodinjstev za oceno števila potrebnih priključkov uporabimo tudi podatke o penetraciji omrežja na urbanistično podobnih lokacijah, kjer je bilo v letu 2009 s strani nacionalnega operaterja telekomunikacij zgrajeno optično omrežje (tipa FTTH):

- lokacija Velike Lašče; na lokaciji je bilo zgrajeno optično omrežje z 263 priključki; v tekočem letu po končani izgradnji je bilo vključenih 141 naročnikov; penetracija omrežja v letu 2009 je tako dosegala 53,6%; do leta 2016 je bilo omrežje dograjeno in trenutno šteje 303 priključke, 214 priključkov je zasedenih; penetracija omrežja je 70,6%.
- lokacija Dolsko; ob začetku gradnje leta 2009 je bilo zgrajenih 347 priključkov, po končani izgradnji pa je bilo vključenih 234 priključkov; penetracija omrežja v letu 2009 je tako dosegala 67,4%; do leta 2016 je bilo omrežje dograjeno na 531 priključkov, 422 pa je zasedenih; penetracija omrežja dosega 79,5%.

Glede na podatke o primerljivih lokacijah, zaradi neustreznega stanja obstoječega dostopovnega omrežja in ker bo omrežje odprtega tipa (omogočeno bo naročilo storitev vseh ISP (angl. *Internet Service Provider*)) predvidimo, da bo že v prvem letu po izvedeni gradnji penetracija omrežja večja, kot pri obeh primerih zgoraj. Začetno penetracijo ocenimo na 70% in predvidimo, da se bo v naslednjih desetih letih še povečala (predvsem zaradi bolj razširjene uporabe internetnih storitev med starejšimi in večje dostopnosti internetnih storitev) na vsaj 80% priključkov. Ob teh predpostavkah in glede na število gospodinjstev na lokaciji pridemo do zaključka, da je omrežje potrebno načrtovati tako, da se na lokaciji lahko vključi vsaj 253 priključkov v začetni fazi, oz. 337 priključkov v prvih desetih letih po zaključku gradnje širokopasovnega dostopovnega omrežja.

#### 4.2.2 Ocena obremenitev omrežja na izbrani lokaciji

Za oceno trenutne obremenitve omrežja se v prvem koraku osredotočimo na porabo pasovne širine po posameznih storitvah. V tabeli 4.2 so prikazani trenutno najpogosteje uporabljeni tipi storitev in ocenjena obremenitev omrežja za posamezen tip storitve. Iz tabele je razvidno, da omrežje najbolj obremenjujejo video storitve (IPTV in pretočne storitve kot so Youtube in Netflix), video storitve v HD (angl. *High Definition*) tehniki (HD IPTV in HD pretočne storitve) in p2p (angl. *peer to peer*) aplikacije. Prav te storitve so pri povprečnem uporabniku tudi najbolj pogosto uporabljane.



pasovna širina (v Mbit/s)	tip storitve
< 1	e-pošta, IM (angl. Instant Messaging)
1 - 2	spletno surfanje, pretočne avdio vsebine, socialna omrežja, online igre
3 - 4	pretočne video vsebine, p2p, IPTV
5 - 9	HD video vsebine (pretočne in IPTV)
10 <	prenos večjih datotek, digitalna distribucija vsebin

**Tabela 4.2** Obremenitev omrežja po tipu storitev.

Na obremenitev omrežja poleg tipa storitev vpliva tudi število in tip uporabnikov. Število uporabnikov je praviloma večje, kot je število priključkov. Če je število priključkov relativno enostavno oceniti (upoštevamo število gospodinjstev in primerjavo s penetracijo na podobnih lokacijah), se pri številu in predvsem tipu uporabnikov precej bolj zaplete. Za oceno bi morali poleg števila prebivalcev uporabiti tudi podatke o starosti, zaposlitvi, številu članov v gospodinjstvu, socialni vpletenosti, številu in vrsti zaslonov (TV, računalnik, tablica, mobilni telefon) in tudi finančnemu stanju. Za namene tega dela se bomo problematike lotili z drugačnim pristopom. Za izračun obremenitve omrežja bomo uporabili osnovno enačbo (4.1), ki jo bomo dopolnili glede na empirične primere predstavljene v nadaljevanju tega poglavja.

$$BN = N * T \quad (4.1)$$

Pri tem  $N$  predstavlja število priključkov,  $T$  oceno obremenitve na naročnika in  $BN$  skupno obremenitev omrežja.

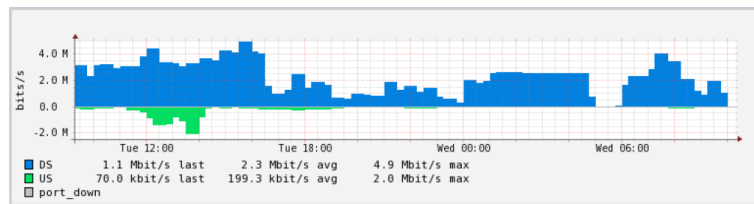
Predstavili bomo obremenitev na priključku petčlanske družine, utemeljili, da gre v tem primeru za povprečnega uporabnika, ki obremeni priključek in s tem omrežje, s povprečnimi vrednostmi. Predstavili bomo obremenitev omrežja s strani večje skupine uporabnikov, ki uporabljajo različne tehnologije širokopasovnega dostopa. Pridobljene podatke bomo primerjali še z lokacijo, ki je z urbanističnega in socialnega pogleda primerljiva z našo predlagano lokacijo in iz pridobljenih zaključkov dopolnili zgornjo enačbo za oceno obremenitve omrežja.

Petčlanska družina, ki je predmet ocene obremenitev omrežja, je sestavljena iz staršev v poznih tridesetih letih, starejšega otroka v poznih najstniških letih in dveh manjših otrok starosti pod deset let. Na lokaciji priključka se uporablja en TV sprejemnik in

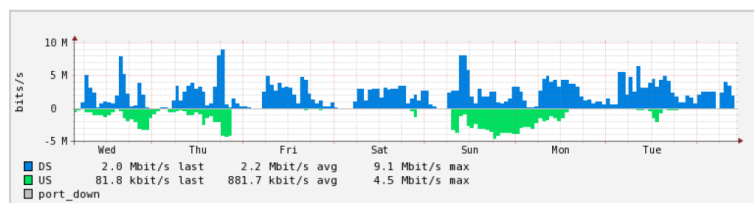
dva hišna računalnika, občasno pa se na omrežje preko brezžičnega lokalnega dostopa priključujejo tudi do štiri mobilne naprave. S takšno sestavo se približamo sestavi prebivalstva na lokaciji gradnje omrežja (po podatkih SURSa je na izbrani lokaciji povprečno število članov v gospodinjstvu 2,6 člana/gospodinjstvo, povprečna starost prebivalcev znaša 41,7 let) in istočasno zajamemo najbolj zahtevne uporabnike, tako po starostnem obdobju, kot tudi po obliki gospodinjstva. V tem primeru sicer zanemarimo starejše uporabnike, za katere sklepamo da so manj zahtevni in potencialno nadpovprečno zelo zahtevne uporabnike, ki jih bo za realno oceno potrebno upoštevati v nadaljevanju tega besedila.

Na slikah 4.4, 4.5, 4.6 in 4.7 so prikazani grafi dnevnega, tedenskega, mesečnega in letnega prenosa podatkov v Mbit/s, ki so bili izdelani na osnovi meritev v omrežju nacionalnega operaterja telekomunikacij. Količina prenosa podatkov se giblje po krivulji, ki je značilna za rezidenčne širokopasovne priključke. Iz grafov je razvidna manjša obremenitev omrežja v dopoldanskem času, porast obremenitve v popoldanskem času, največje vrednosti v popoldanskih in zgodnjih večernih urah, ki jim sledi strm padec količine prenosa podatkov v nočnih urah. Graf na sliki 4.4, ki prikazuje dnevni promet ni tako uzrazit, kar je značilno za priključek z več uporabniki, kjer se prenos podatkov bolj enakovredno porazdeli po celotnem dnevu (npr. otroci so prej doma kot starši, eden od staršev dela od doma itd.) in kjer so resursi omejeni (en TV sprejemnik/računalnik, ki ga uporablja več uporabnikov). Povprečne vrednosti prenosa podatkov se gibljejo od 3,5 Mbit/s (slika 4.6) do 5 Mbit/s (slika 4.7). Glede na tabelo 4.2 lahko te vrednosti interpretiramo z uporabo IPTV storitve (cca 3Mbit/s) ali HD IPTV storitve (cca 5Mbit/s) ali pa kombinacijo IPTV storitve z dodatno pretočno ali p2p storitvijo na računalniku (npr. Youtube, TViN) in še kakšno manj potratno storitvijo (spletno surfanje, pretočni avdio, socialna omrežja) na drugem računalniku/tablici/mobilnem aparatu. Maksimalne vrednosti prenosa podatkov, ki dosegajo od 9,5 do 11 Mbit/s, so morda nižje od pričakovanih, vendar tudi ustrezajo vrednosti v tabeli 4.2. Lahko jih interpretiramo z istočasno uporabo IPTV storitve, pretočne in/ali p2p storitve na računalniku in uporabo ene ali dveh drugih storitev kot so socialna omrežja in online igre.

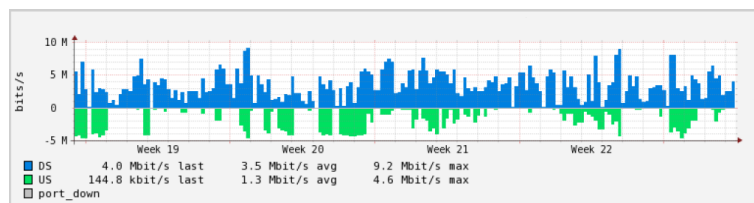
Iz grafičnega prikaza na sliki 4.8 je razvidno, da (čeprav je priključek na bakrenem omrežju) poraba na priključku ni bila tehnično ali prodajno omejena. Modem se ves čas sinhronizira na hitrosti cca 40 Mbit/s. Prodajni paket storitev je bil na začetku tipa ADSL s hitrostjo 20 Mbit/s, sredi decembra pa se spremeni v VDSL priključek s hitrostjo



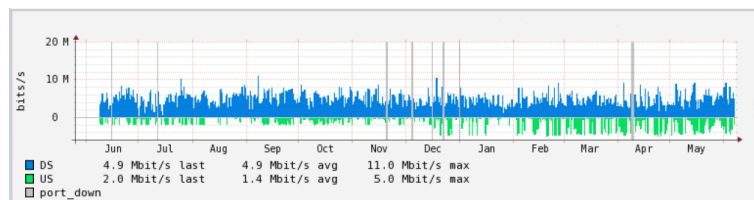
Slika 4.4 Dnevni prenos podatkov.



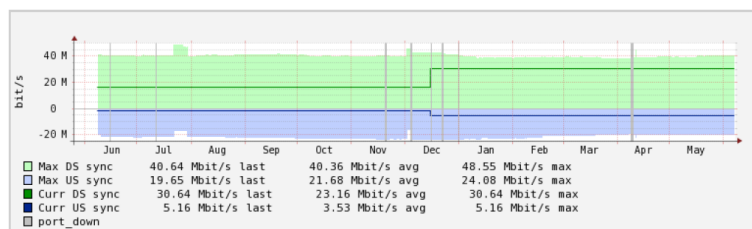
Slika 4.5 Tedenski prenos podatkov.



Slika 4.6 Mesečni prenos podatkov.



Slika 4.7 Letni prenos podatkov.

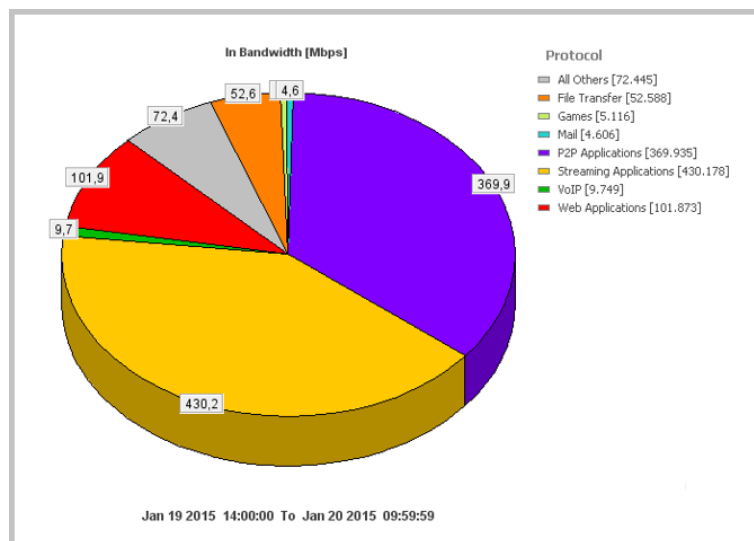


**Slika 4.8** Prenos podatkov tehnično in prodajno ni bil omejen.

30 Mbit/s (menjava ADSL tehnologije v VDSL je iz grafa razvidna zaradi spremembe dostopovne hitrosti). Edina omejitev na priključku je bila pri hitrosti internetne povezave v smeri od uporabnika navzgor. Iz grafa je razvidno, da se je ob menjavi dostopovne tehnologije hitrost v smeri od uporabnika navzgor dvignila iz 1 Mbit/s na 5 Mbit/s.

Glede na zgoraj zapisano lahko zaključimo, da povprečnemu uporabniku, četudi je to več članska družina, trenutno zadostuje širokopasovni priključek, ki v času največje obremenitve (angl. *peak time*) dosega hitrosti do 10 Mbit/s. Če zgoraj opisanemu priključku dodamo storitev, ki je največji porabnik pasovne širine, to je storitev, ki vključuje prenos video signala v HD obliki, bi v času največje obremenitve še vedno dosegali hitrosti zgolj do 15 Mbit/s.

Vendar bi bila v tem koraku posplošitev na več uporabnikov seveda še preuranjena. Čeprav nam zgornji primer zadostno prikaže obremenitev omrežja s strani povprečnega uporabnika je nujno upoštevati tudi nadpovprečno zahtevne uporabnike, ki večino prometa ustvarijo preko p2p aplikacij. Obremenitev omrežja s strani takega uporabnika je težko oceniti predvsem zato, ker se v veliko primerih prenos podatkov omeji s tehnično rešitvijo priključka ali prodajnim paketom, ki ga tak naročnik uporablja. Zaradi tega se pri poizkusu ocene prometa preko zahtevnih uporabnikov ne bomo omejili na posameznega uporabnika ampak bomo zajeli pregled obremenitev večjega števila naročnikov. Graf na sliki 4.9 prikazuje rezultate enodnevnih meritev obremenitev omrežja večjega števila uporabnikov. Meritve so bile opravljene na vzorcu 5.632 priključkov, od tega je bilo 2.104 širokopasovnih dostopov preko optičnega (FTTH) omrežja, ostalo pa preko bakrenih povezav (ADSL in VDSL). Podatki na grafu potrjujejo zgornjo domnevo, da čeprav p2p aplikacije uporablja manj uporabnikov, kot npr. IPTV storitve, le te ustvarijo primerljivi promet na širokopasovnem omrežju. Iz grafa je razvidno, da p2p aplikacije ustvarijo 35,3% prometa na omrežju, pretočne aplikacije (vrednost vključuje IPTV

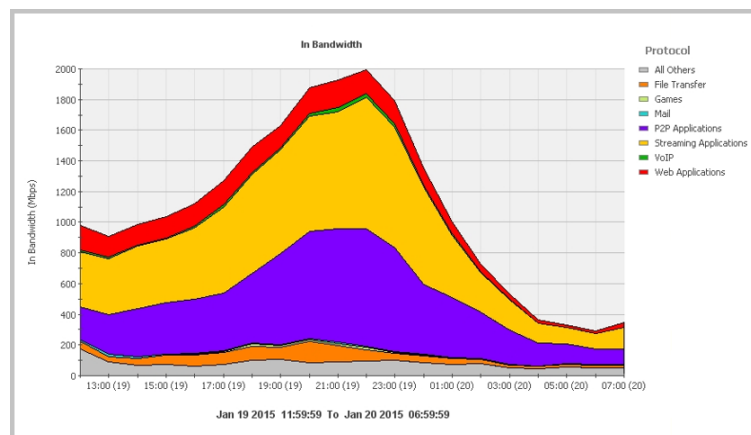


Slika 4.9 Obremenitev omrežja po storitvah.

storitev, video pretočne storitve (Youtube), VoD (angl. *Video on Demand*), avdio pretočne storitve (Pandora, Deezer)) ustvarijo 41,4% prometa. Spletne aplikacije (postavka vključuje socialna omrežja (Facebook, Tumblr, Instagram) in ostale spletne aplikacije) ustvarijo 9,7%, aplikacije za prenos datotek (nadgradnje programske opreme, prenos datotek iz oblaka) ustvarijo 5% prenosa. Ostale storitve (VoIP, online igre, e-pošta) skupaj ustvarijo 8,8% prometa.

Zaradi narave p2p aplikacij je graf na sliki 4.9 nekoliko zavarjujoč. P2p aplikacije so namreč specifične tudi po tem, da je padec prometa v nočnih urah najmanjši med vsemi storitvami. Posledično je skupni promet na omrežju višji kot bi bil drugače. Ker pa nas zanima predvsem promet na omrežju v času največje obremenitve je boljša slika razvidna iz grafa na sliki 4.10. Tudi tu vidimo, da je promet, ki ga ustvarijo p2p aplikacije precejšen v primerjavi z drugimi aplikacijami. Vrednosti meritev ob največji obremenjenosti omrežja kažejo približno 35% obremenitev s strani p2p aplikacij, največji porabnik pa so še vedno pretočne aplikacije, ki ob istem terminu v našem primeru omrežje obremenijo s prometom velikosti približno 900 Mbit/s, kar ustreza 45% celotnega prometa.

Če upoštevamo, da v zgornjem primeru povprečnega uporabnika p2p aplikacij praktično nismo upoštevali in da le te ustvarijo 35% celotnega prometa in če smo pri prejšnjem primeru prišli do zaključka, da se pri povprečnem uporabniku obremenitev omrežja giblje do maksimalno 10 Mbit/s, pridemo do zaključka, da se ob upoštevanju celotnega



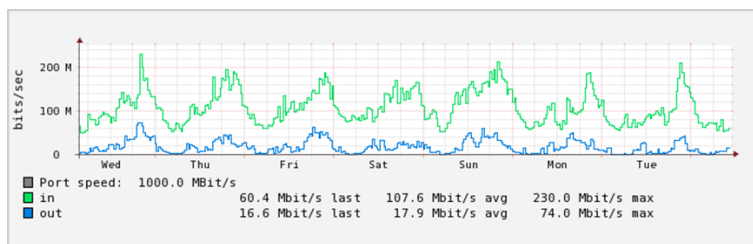
Slika 4.10 Časovna obremenitev omrežja po storitvah.

spektra storitev povprečna vrednost maksimalne uporabljane pasovne širine dvigne na 15 Mbit/s.

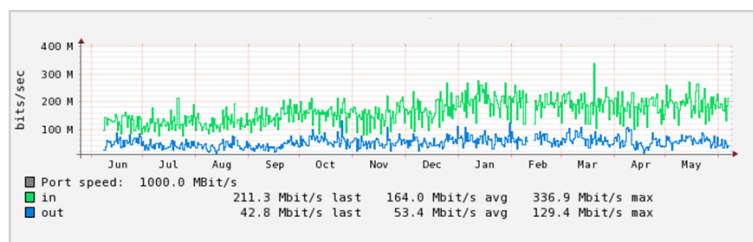
V prejšnjih primerih smo uporabili podatke o meritvah na posameznem uporabniku in na večjem številu uporabnikov mešanih profilov (optično in bakreno omrežje, rezidenčni in poslovni uporabniki). V naslednjem primeru bomo analizirali podatke na lokaciji, ki je urbanistično primerljiva z lokacijo, kjer načrtujemo gradnjo širokopasovnega omrežja. Gre za ruralno lokacijo, t.i. spalno naselje brez (oz. z zanemarljivo majhnim) številom poslovnih uporabnikov. Lokacija je manjša od naše načrtovane lokacije in zajema 84 uporabnikov internetnih povezav, ki so v celoti realizirane na FTTH omrežju.

Na slikah 4.11 in 4.12 je prikazan tedenski in letni promet na omrežju. Jasno so razvidna nihanja obremenitev, ki se tako kot na prejšnjih dveh primerih (sliki 4.5 in 4.10) močno poveča v poznih popoldanskih in zgodnjih večernih urah. Iz grafa na sliki 4.12 je razviden naraščajoč trend obremenitev omrežja. Maksimalna vrednost dosega 336,9 Mbit/s in v tem primeru zelo izstopa (kot zanimivost, maksimalna vrednost je bila dosežena 20.3.2016, ko se je v Planici odvijal zaključek sezone smučarjev skakalcev). Vrednosti od 240 do 260 Mbit/s so bolj pogoste in so redno dosežane v drugi polovici grafa.

Na sliki 4.13 so prikazane vrednosti za promet generirane preko storitve IPTV. Tudi ta slika potrdi ugotovitve iz prejšnjih primerih, da je trenutno storitev IPTV največji porabnik pasovne širine in da uporaba te storitve generira vrhove prometa na celotnem omrežju. Še posebej je to izrazito na tem zadnjem primeru, predvsem zaradi tega, ker



Slika 4.11 Tedenska obremenitev centrale.



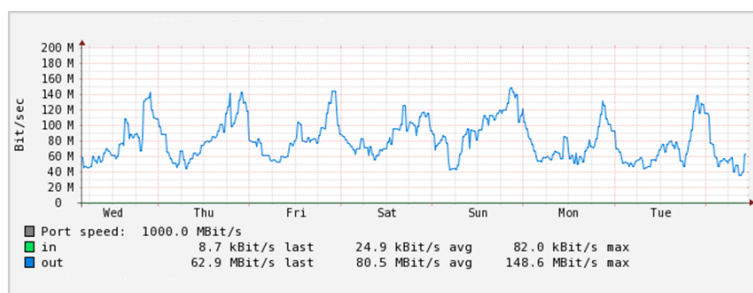
Slika 4.12 Letna obremenitev centrale.

na lokaciji ni poslovnih uporabnikov, ki v večji meri kot rezidenčni generirajo promet na storitvah kot so VoIP, e-pošta in prenos datotek.

Kot je razvidno iz slike 4.13 storitev IPTV v povprečju ustvari kar 74,8% celotnega prometa. Ta vrednost pri maksimalnih vrednostih pade na 64,6%.

Na podlagi empiričnih primerov enačbo z začetka tega poglavja dopolnimo in spremenimo v obliko (4.2).

$$N * uT = BN \quad (4.2)$$



Slika 4.13 Tedenska obremenitev s storitvijo IPTV.

št. članov v gospodinjstvu	št. gospodinjstev	delež gospodinjstev po velikosti
1	101	27,98%
2	88	24,38%
3	72	19,94%
4	58	16,07%
5+	42	11,63%

**Tabela 4.3** Delež gospodinjstev po velikosti.

št. članov v gospodinjstvu	IPTV	računalnik	ostalo	skupaj
1	0,8	0,3	/	1,1
2	1	0,3	/	1,3
3	1,1	0,5	/	1,6
4	1,5	0,6	0,2	2,3
5+	1,5	0,6	0,4	2,5

**Tabela 4.4** Utežena ocena obremenitve omrežja po velikosti gospodinjstev.

Vrednost  $uT$  izračunamo po enačbi (4.3) in predstavlja povprečno uteženo oceno obremenitve na naročnika. Izračunamo jo iz spremenljivke  $dg_n$ , ki predstavlja delež gospodinjstev po velikosti (vrednosti so razvidne v tabeli 4.3) in spremenljivke  $u_n$ , ki predstavlja utež ocenjene obremenitve po velikosti gospodinjstva (tabela 4.4).

$$uT = (dg_1 * u_1 + \dots + dg_n * u_n) * uB \quad (4.3)$$

$uB$  je spremenljivka s katero ocenimo osnovno obremenitev omrežja po posameznem priključku. V našem primeru postavimo vrednost  $uB$  na 5 Mbit/s, kar ustreza uporabi IPTV storitve v HD načinu (MPEG4 (angl. *Motion Picture Experts Group Layer-4 Video*) kodiranje). To storitev vzamemo kot osnovno bazno storitev, ki jo uporablja največ uporabnikov. Če je uporabnik priključka en sam, večje porabe (iz praktičnega vidika) ne more generirati (brez upoštevanja p2p aplikacij).

Ko vnesemo vse postavke pridemo do ocene, da bo omrežje na naši lokaciji v času največje obremenitve obremenjeno z internetnim prometom velikosti 8 Mbit/s po naročniku. Skupna ocena na 253 naročnikov tako znaša cca 2 Gbit/s. Ob upoštevanju, da je promet preko p2p aplikacij veliko težje oceniti na povprečnem uporabniku (odstopanja med



uporabniki so prevelika) in, če iz zgornjih primerov upoštevamo, da se delež prometa generiranega preko p2p aplikacij giblje okoli 35% skupnega prometa, pridemo do skupne obremenitve omrežja v višini 2,7 Gbit/s.

Ob primerjavi naše ocene z velikostjo prometa prikazanega na sliki 4.12 vidimo, da naša ocena predvideva precej večjo obremenitev. Glavna razloga za to precej veliko odstopanje sta v številu upoštevanih aktivnih priključkov, ki je na našem primeru več kot trikrat večje kot na sliki 4.12. Drugi razlog je v tem, da smo pri naši oceni upoštevali, da uporabniki uporabljajo storitev IPTV v HD resoluciji. To seveda ne drži v celoti in če bi oceno obremenitve osnovali na uporabi storitve v SD ločljivosti, bi bila ocena za skoraj polovico manjša. Ker pa trend uporabe kaže, da se delež uporabnikov HD storitev konstantno viša, je smiselno za oceno uporabiti kar HD storitve.

#### 4.2.3 Ocena prihodnjih obremenitev omrežja

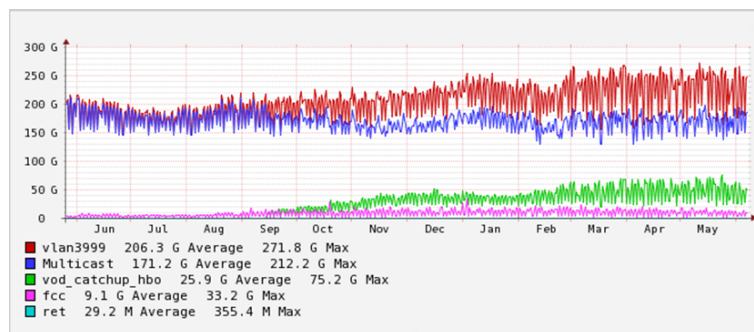
Obremenitev omrežja v prihodnje je odvisna od povečanega števila naročnikov na omrežju in od spremenjenih navad obstoječih uporabnikov širokopasovnih storitev. Povečanje števila naročnikov smo ocenili že v zaključku razdelka 4.2.1. Glede na to oceno predvidevamo, da se bo obremenitev omrežja v naslednjih desetih letih iz 2,7 Gbit/s povečala na 3,6 Gbit/s. Spremembo uporabniških navad je težje oceniti. Ta sprememba je sicer deloma že upoštevana pri oceni trenutnega bremena omrežja. Pri oceni smo namreč upoštevali, da večina uporabnikov uporablja HD video storitve (na vseh segmentih, kot so IPTV, pretočne vsebine, VoD), kar trenutno ne velja. Še posebej pri pretočnih vsebinah velja, da se velika večina storitev prenaša v SD tehniki. Tudi pri IPTV storitvi večina uporabnikov še vedno spremlja TV programe v SD tehniki.

Kljub temu je logično pričakovati, da se bo hitrost internetnega dostopa in obremenitev omrežja/uporabnika v prihodnje povečevala. Oceno tega povečanja je opredelil že Nielsen, ki pravi, da se hitrost širokopasovnega dostopa v enem letu poveča za 50% [7]. T.i. Nielsenov zakon je izpeljanka Moorovega zakona, ki se nanaša na zmogljivost računalniške strojne opreme in pravi, da se le ta poveča za 60% na leto. Iz tega vidika moramo to trditev tudi pravilno interpretirati. Trditev je namreč relativno pravilna z vidika uporabniških pričakovanj in prodajnih paketov ponudnikov širokopasovnih storitev. S strani realne uporabe IP storitev so te zahteve manjše. Uporabniki namreč pričakujejo dvig hitrosti širokopasovnega dostopa, deloma tudi zaradi marketinških potez ISPjev, vendar svojih uporabniških navad ne spreminjajo tako hitro, da bi to višjo

hitrost tudi dejansko potrebovali (trditev velja po zagotovitvi neke minimalne hitrosti, ki je potrebna za delovanje in udobno uporabo storitev). Trenutno so storitve za katere so ocenjuje največji porast uporabe in s tem obremenitve dostopovnih omrežij precej poslovno orientirane. Največji porast se pričakuje na segmentih storitev v oblaku, prenosu in shranjevanju podatkov in internetu stvari [8]. Vsi trije tipi storitev se pogosteje uporabljajo v poslovnem okolju. Pri rezidenčnih uporabnikih je še vedno bolj v ospredju digitalizacija obstoječih storitev. Z povišanjem dostopovnih hitrosti pa se na široko odpirajo vrata tudi za storitve, ki do zdaj zaradi omejitev niso bili razširjene. K tem storitvam spada še višja ločljivost video signala (npr. 4K), virtualna resničnost, 3D aplikacije in kombinacija naštetega (npr. virtualna delavnica (angl. *virtual workshop*)).

Za storitve v prihodnosti je zelo težko napovedati kdaj bo njihova uporaba tako razširjena, da bo vplivala na končno obremenitev omrežja. Graf na sliki 4.14 prikazuje primer kako povečanje uporabe specifične storitve (ali segmenta storitev) vpliva na obremenitev omrežja. Na sliki je prikazana obremenitev omrežja s storitvami VoD (prikazana vrednost zajema klasične VoD storitve, storitve ogled nazaj (angl. *catch up*) in VoD storitve posameznih ponudnikov, kot je npr. HBO). Iz grafa je razvidno, da je obremenitev omrežja z cca 10 Gbit/s v septembru 2015 narastla na več kot 70 Gbit/s v začetku junija 2016. Predvidevamo, da je razlog za ta hiter porast prometa predvsem v večji dostopnosti in bolj razširjeni uporabi storitev za ogled nazaj. Čeprav je ta segment storitev na trgu prisoten že približno štiri leta (od poletja 2012) so ga šele tehnične in prodajne spremembe v zadnjega pol leta dokončno postavile med storitve, ki jih uporabniki redno koristijo. Čeprav se je promet zaradi uporabe tega specifičnega segmenta storitev v dobrih devetih mesecih povečal za 60 Gbit/s, pa skupni promet ne odraža tako velikega povečanja. V istem času se je skupni promet video storitev povečal za cca 50 Gbit/s. Na prvi pogled bi sicer lahko razlog za to povečanje iskali prav v segmentu VoD, vendar je smiselno zaključiti, da bi se skupni promet povečal ne glede na uporabo VoD storitev, vendar ne v tako velikem obsegu. Nova storitev k uporabi internetnega dostopa privabi določeno število novih uporabnikov, v veliko večjem obsegu pa se število uporabnikov te storitve poveča na račun obstoječih uporabnikov sorodne oz. podobne storitve. Prav zato skupni prirastek na vrednosti prometa ni tako velik, kot je prirastek prometa na specifičnem segmentu storitev.

Zelo težko je smiselno oceniti povečanje prometa na širokopasovnem omrežju za obdobje deset let vnaprej. Edini odgovor je, da se že ob gradnji omrežja predvideva potrebo



Slika 4.14 Porast prometa preko VoD storitev.

(in oceni možnost) po nadgradnji omrežja v časovnem obdobju, ki je precej krajše od življenske dobe omrežja. Upravitelj omrežja mora nujno vzpostaviti sistem preko katerega lahko spremlja promet na omrežju in uporabniške navade uporabnikov. Le tako lahko na dolgi rok zagotovi nemoteno delovanje in časovno ustrezno hitro nadgradnjo omrežja, ko je ta potrebna.

### 4.3 Izvedba gradnje omrežja po smernicah EDA

V pričujočem razdelku bomo utemeljili izbiro tehnologije omrežja, ki ga predlagamo za realizacijo na izbrani lokaciji, predstavili popis elementov omrežja in jih geografsko umestili v prostor.

#### 4.3.1 Izbira tehnologije

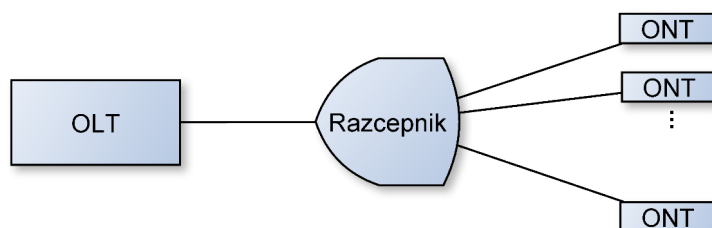
V poglavju 3 je bilo predstavljeno, da je optično omrežje edini tip omrežja, ki dolgoročno ustreza smernicam zapisanim v EDA in NGN. Izbira tako ostane med FTTx in GPON tehnologijo. S tehničnega vidika sta oba načina gradnje ustrezna. Tudi dolgoročno gledano sta obe tehnologiji primerni. Z nadgradnjo aktivne opreme na centrali (in v primeru GPON tudi pri končnem naročniku) lahko življensko dobo omrežij precej podaljšamo tudi, če se zahteve po dostopovnih hitrostih zelo povečajo. Zaradi tehnične rešitve je realizacija omrežja s tehnologijo FTTx sicer bolj zanimiva. FTTx ponuja preprostejši način nadgradnje in reševanje napak, ter bolj prilagodljivo omrežje. Ker pa želimo omrežje realizirati s čim manjšimi stroški se na koncu odločimo za GPON tehnologijo, ki ponuja tehnično rešitev, ki je občutno cenejša predvsem v gradbenem in montažnem delu gradnje. Prav zaradi zniževanja stroškov bomo tudi pri sami realizaciji

omrežja, kjer je možno, uporabili obstoječe gradbene elemente (npr. obstoječe drogeve nacionalnega operaterja komunikacij oz. upravitelja električnega omrežja).

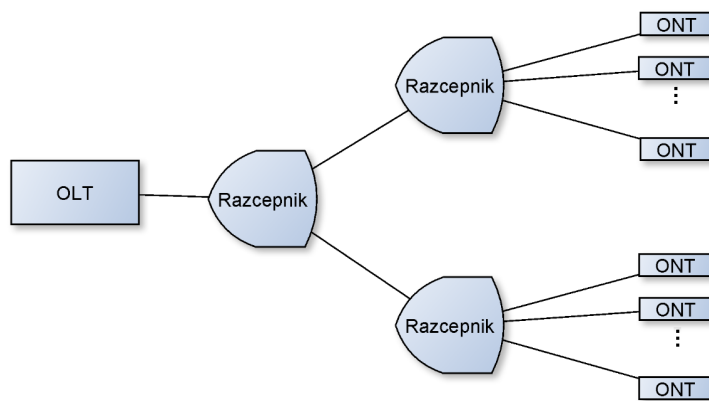
### 4.3.2 Arhitektura omrežja

Na predlagani lokaciji bomo gradili enovlakensko GPON omrežje. Po GPON standardu bo za prenos podatkov v smeri proti uporabnikom uporabljen laserski oddajnik z valovno dolžino 1.490 nm, za prenos v smeri od uporabnika pa laserski oddajnik z valovno dolžino 1.310 nm. Največje možno razcepno razmerje, ki ga omrežje dovoljuje je  $1/64$ . Ker na lokaciji ni večjih stanovanjskih objektov in ker je poselitev zelo razgibana se na podlagi ocene obremenitve omrežja odločimo, da bo največje razcepno razmerje, ki ga bomo uporabili pri gradnji omrežja velikosti  $1/32$ . Prav zaradi razgibanosti poselitve lahko že takoj domnevamo, da razcepniki velikosti  $1/32$  na vseh mikrolokacijah ne bodo optimalni in je bolj smiselno, da se pri gradnji uporabi manjše razcepnike velikosti  $1/16$  ali celo  $1/8$ . Ker to pomeni, da bo na eni OLT enoti relativno malo naročnikov je smiselno, da pri predlogu uporabimo dva nivoja razcepnikov in s tem na isto OLT enoto vežemo več naročnikov. Zaradi podatkov statističnega multipleksiranja, ki kažejo, da je razcepno razmerje na optičnih omrežjih približno  $1/40$  in zaradi dolgoročnega načrtovanja omrežja se odločimo, da tudi ob uporabi več nivojev razcepnikov skupno razmerje ne bo presegalo razcepnega razmerja  $1/32$ . Možne so torej kombinacije z enim nivojem razcepnikov velikosti  $1/32$  (izjemoma tudi velikosti  $1/16$ , še posebej v središču lokacije, kjer se pričakuje največja možnost porasta naročnikov v prihodnje), z dvema nivojema razcepnikov, kjer je na nultem nivoju razcepnik  $1/2$ , na prvem pa dva razcepnika  $1/16$  ali kombinacija, kjer je na nultem nivoju razcepnik velikosti  $1/4$  in na prvem nivoju do štirje razcepniki  $1/8$ . Preprosti shemi obeh primerov sta predstavljeni na slikah 4.15 in 4.16. Na sliki 4.15 je prikazan razcepnik velikosti  $1/n$ , kjer je  $n$  po vrednosti lahko 16 ali 32. Razcepno razmerje manjše od  $1/16$  ni smiselno. Že tako majhno razcepno razmerje z vidika zasedenosti OLT enot in obremenitev omrežja ni optimalno in se zanj odločimo le v primeru, ko je velika možnost po potrebi dodatnih prikjučkov v bližnji prihodnosti. Dodatne priključke v tem primeru lahko realiziramo z zamenjavo razcepnika v velikost  $1/32$  ali še enem dodanem razcepniku velikosti  $1/16$ . Na sliki 4.15 sta prikazana dva nivoja razcepnikov, na nultem nivoju so razcepniki velikosti  $1/2$  (ali izjemoma  $1/4$ ), na prvem pa velikosti  $1/16$  (ali izjemoma  $1/8$ ).

Na lokaciji centrale imamo vzpostavljeno zunanjo povezavo za dostop do interneta,



Slika 4.15 Primer GPON omrežja z enim nivojem razcepnikov.



Slika 4.16 Primer GPON omrežja z dvema nivojema razcepnikov.

ki ga preko medkrajevnega omrežja zagotavlja nacionalni operater telekomunikacij. Na zunanjo povezavo je povezana GPON omara z stojalom (angl. *rack*) z OLT enotami. Na lokaciji centrale se nahajajo tudi razcepniki na nultem nivoju.

Glavna trasa povezave se zaključi na optičnih spojkah, ki vsebujejo potrebno količino zvarnih kaset, kjer se nahajajo tudi predvideni razcepniki na prvem nivoju.

Omrežje se z ONT enoto zaključi na lokaciji končnega naročnika. ONT enota (oz. izhodna vrata (angl. *port*) na ONT enoti) zaznamuje priključno točko do katere se gradi omrežje. Na ONT enoto se vključi oprema posameznega ISPja, ki omogoča uporabo naročenih širokopasovnih storitev vendar ni del opisane gradnje omrežja. Oprema vključuje modem in po potrebi še TV komunikator in ostalo komunikacijsko terminalno opremo (usmerjevalnik, stikala, PLC enote, itd.).

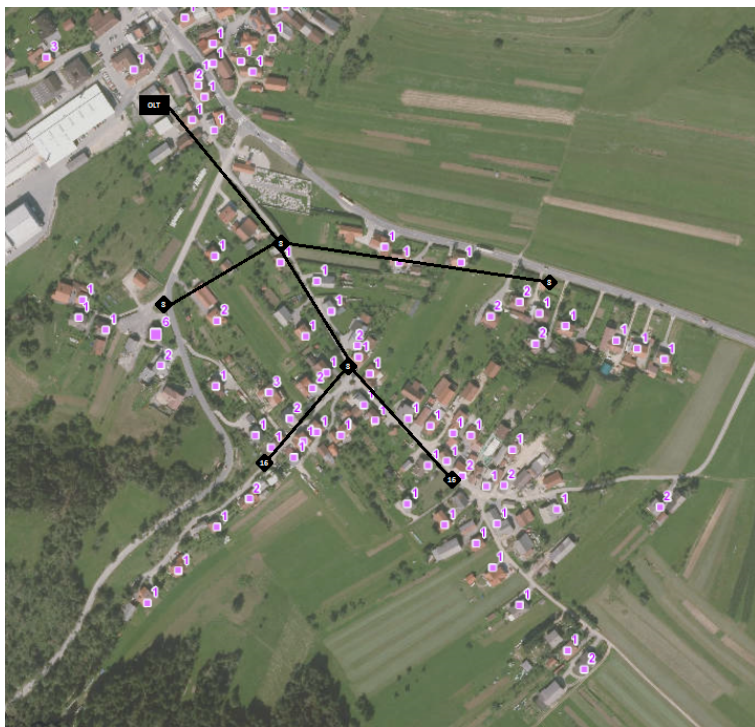
#### 4.3.3 Lokacijska umestitev v prostor

Na slikah 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 in 4.21 je prikazana geografska umestitev elementov omrežja v prostor na izbrani lokaciji. Element oblike pravokotnika črne barve in z napisom OLT označuje lokacijo centrale, kjer so nameščene OLT enote in razcepniki na nultem nivoju. Črno obarvani elementi oblike romba označujejo lokacije optičnih spojk, ki vsebujejo tudi razcepnike na prvem nivoju. Številka  $n$  na elementu ponazarja velikost razcepnika v obliki  $1/n$ . Na lokaciji je predvidena postavitve desetih OLT enot, pet razcepnikov na nultem nivoju (štirje velikosti  $1/2$  in eden velikosti  $1/4$ ), ter sedemnajst razcepnikov na prvem nivoju (štirje velikosti  $1/8$ , osem velikosti  $1/16$  in pet velikosti  $1/32$ ).

#### 4.3.4 Nadgradnja omrežja

Zelo pomembno je, da že v fazi gradnje razmišljamo tudi o možnostih nadgradnje omrežja v prihodnosti. Čeprav je GPON standard relativno nov se že pojavlja potreba po povečanih zmogljivostih omrežja zgrajenega po tem standardu.

Prvotno razvit standard, ki je bil namenjen nadgradnji GPON omrežja, je bil poimenovan NGPON1 (angl. *Next Generation PON*) ali XGPON. Standard sicer omogoča štirikratno povečanje zmogljivosti GPON standarda (hitrost v smeri proti uporabniku je pri GPONU omejena na 2,5 Gbit/s, pri NGPON1 pa znaša 10 Gbit/s), kar pa ni prepričalo potencialnih uporabnikov. Strošek nakupa opreme in predvsem slepa ulica v razvoju namreč ne odtehtata povečanja zmogljivosti. Enako kot GPON namreč tudi



Slika 4.17 Razvoda omrežja v naselju Slivice.



Slika 4.18 Razvod omrežja v zaselku Hribce.





Slika 4.19 Razvod omrežja v naselju Unec - 1. del.



Slika 4.20 Razvod omrežja v naselju Unec - 2. del.





Slika 4.21 Razvod omrežja v naselju Ivanje selo.

NGPON1 uporablja TDM tehnologijo, ki temelji na časovnem razdeljevanju paketkov. Velika ovira pri tej tehnologiji je, da se lahko kreira le omejeno število časovnih oken in tej končni številki se z NGPON1 že močno približamo, tako da nadaljni razvoj v to smer ni možen.

Zaradi teh ovir je bil s strani FSAN (Full Service Access Network) razvit NGPON2. Prednost tega standarda je v tem, da lahko uporablja optično distribucijsko omrežje na katerem se že uporablja GPON ali NGPON1, kar pomembno zniža stroške prehoda oz. nadgradnje. Druga pomembna prednost je v tem, da že v začetni obliki predvideva hitrosti do 40 Gbit/s, v razširjenem (angl. *extended*) formatu, pa se predvideva teoretična hitrost do 80 Gbit/s. Te povečane zmogljivosti so pri NGPON2 standardu dosegli z TWDM (angl. *Time Wavelength Division Multiplexing*) modulacijo. Pri tej rešitvi se več NGPON1 sistemov (ki uporabljajo TDM) združi z valovno-dolžinskim razvrščanjem. Na ta način omogočimo prenos različnih signalov (z uporabo laserjev različnih barv) po istem optičnem vlaknu, kar omogoči precej višje dostopovne hitrosti.

## 5 Zaključek

V pričujočem diplomskem delu smo prišli do zaključka, da je optično omrežje edini tip širokopasovnega omrežja, ki ustreza smernicam EDA in predvidoma tudi na dolgi rok zagotavlja tehnične rešitve, ki so primerne za povečanje obremenitev in dostopovnih hitrosti na omrežju.

Pri optičnem omrežju smo se odločali med FTTx in GPON tehnologijo. Kljub slabši prilagodljivosti GPON omrežja se odločimo za izgradnjo v tej tehnologiji, glavno vodilo odločitve pa je razlika v ceni pri izgradnji med FTTx in GPON omrežjem. Še posebej ob upoštevanju statističnih podatkov AKOSa, po katerih trenutno približno 65% širokopasovnih priključkov v Sloveniji ne ustreza smernicam EDA, vidimo da je cena izgradnje širokopasovnega dostopovnega omrežja še kako pomembna.

V zadnjem poglavju je predstavljena ocena obremenitve omrežja. Število predvidenih priključkov je izračunano na temelju števila gospodinjstev na lokaciji in pričakovane rasti. Ocena obremenitve je izračunana po formuli, ki je prilagojena glede na empirične primere predstavljene v poglavju. Zaključimo, da je ocenjena obremenitev omrežja nižja od pričakovane, da pa je točne številke zelo težko oceniti, predvsem zaradi narave posame-

znih tipov storitev/aplikacij in zaradi širokega spektra uporabniških navad, ki temeljijo na velikem številu spremenljivk. Za nemoteno delovanje omrežja je nujno načrtovanje prihodnjih nadgradenj že v fazi gradnje in spremljanje povečevanja prometa, ter določanje ozkih grl. Pri načrtovanju omrežja se potencialno slabšim lastnostim GPON tehnologije (težja odprava napak, povečanje stroškov ob nezasedenosti omrežja, neprilagodljivost topologije omrežja) v večji meri lahko izognemo z ustreznim načrtovanjem in rešitvami, ki te napake odpravljajo (redundantne povezave, večnivojski sistem razcepnikov). Ugotovimo, da je realizacija dostopovnega omrežja z GPON tehnologijo primerna za ruralno okolje in v celoti ustreza smernicam EDA.

## LITERATURA

- [1] The Digital Agenda Europe 2020.  
url: <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/digital-agenda-europe-2020-strategy>
- [2] Digital agenda; Pillar IV: Fast and ultra-fast Internet access.  
url: <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/our-goals/pillar-iv-fast-and-ultra-fast-internet-access>
- [3] Digitalna Slovenija.  
url: [http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/Informacijska\\_druzba/DSI\\_2020.pdf](http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/Informacijska_druzba/DSI_2020.pdf)
- [4] Načrt razvoja širokopasovnih omrežij naslednje generacije do leta 2020, str. 14.  
url: [http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/Informacijska\\_druzba/pdf/DSI\\_strategija\\_NGN\\_2020\\_20150306.pdf](http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/Informacijska_druzba/pdf/DSI_strategija_NGN_2020_20150306.pdf)
- [5] Tretje četrletje 2015: poročilo o razvoju trga elektronskih komunikacij.  
url: <http://www.akos-rs.si/tretje-cetrletje-2015:-porocilo-o-razvoju-trga-elektronskih-komunikacij>
- [6] Načrt razvoja širokopasovnih omrežij naslednje generacije do leta 2020, str. 10.  
url: [http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/Informacijska\\_druzba/pdf/DSI\\_strategija\\_NGN\\_2020\\_20150306.pdf](http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/Informacijska_druzba/pdf/DSI_strategija_NGN_2020_20150306.pdf)
- [7] Nielsen's law of internet bandwidth.  
url: <https://www.nngroup.com/articles/law-of-bandwidth/>
- [8] Three major drivers of bandwidth demand.  
url: <http://www.darkfibercommunity.com/blog/three-major-drivers-of-bandwidth-demand>

- [9] J. Prat, Next-Generation FTTH Passive Optical Networks, Springer, Barcelona, 2008.
- [10] S. Willewaldt, Gradnja optičnih dostopovnih omrežij (2009).